

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2013

Tomáš Cabadaj

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra elektroniky

Diagnostika zbytkové kapacity akumulátorů

Residual Battery Capacity Diagnostics

2013

Tomáš Cabadaj

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Zadání bakalářské práce

Student:

Tomáš Cabada

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2602R014 Aplikovaná a komerční elektronika

Téma:

Diagnostika zbytkové kapacity akumulátorů
Residual Battery Capacity Diagnostics

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor provozu jednotlivých typů akumulátorů s ohledem na jejich skutečnou kapacitu.
2. Měřením zbytkové kapacity jednotlivých akumulátorů navrhnete metody pro její vyhodnocení.
3. Zhodnoťte vhodnost použití jednotlivých metod pro určení zbytkové kapacity u různých typů akumulátorů.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dle pokynů vedoucího závěrečné práce

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013



doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty


Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Petrovi Palackému, Ph.D. za jeho odborné rady při vypracování této bakalářské práce.

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 7.5. 2013


.....

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je vymyslet metodu pro zjištění zbytkové kapacity olověného akumulátoru a lithiové baterie. V praxi se často používá metoda, která je založena na principu měření hustoty elektrolytu, ovšem v našem případě je tato metoda nepoužitelná, jelikož měření probíhalo na hermeticky uzavřených akumulátorech. Zbytkovou kapacitu jsme tedy mohli určovat, dle vybíjecích křivek za pomoci napětí při zatížení. Obsahem této práce jsou i způsoby nabíjení akumulátorů, dále je také uveden teoretický rozbor jednotlivých baterií.

Klíčová slova

Olověný akumulátor, lithiová baterie, zbytková kapacita, jmenovitá kapacita, nabíjecí křivka, vybíjecí křivka, směrnice přímk, vnitřní odpor

Abstract

The aim of this work is to devise a method for detecting residual capacity of lead-acid battery and lithium battery. In practice often uses a method that is based on the principle of measuring the density of the electrolyte, but in our case, this method is useless, because the measurements were conducted on sealed batteries. Residual capacity we could determine, by discharge curves for using the load voltage. The content of this work are also ways to charge the battery, there is also provided a theoretical analysis of the individual batteries.

Keywords

Lead-acid battery, lithium battery, residual capacity, nominal capacity, charge curve, discharge curve, slope of the line, the internal resistance

Seznam použitých zkratek

AGM - Absorbed Glass Mat (elektrolyt je vázán ve skelném separátoru)

SLA - Sealed Lead Acid (Zcela uzavřený akumulátor bez přetlakových ventilů)

VRLA - Valve Ragulated Lead Acid (Ventilem řízený olověný akumulátor)

C [Ah] - jmenovitá kapacita akumulátoru

I_d [A] - dobíjecí proud

I_z [A] - zatěžovací proud

k - směrnice přímk

Li-Ion - Lithium iontový akumulátor

Li-Pol - Lithium polymerový akumulátor

NiCd - Nikl kadmiový akumulátor

NiMH - Nikl metal hybridový akumulátor

R_i [Ω] - vnitřní odpor

$U_{\text{cut-off}}$ [V] - odpojovací napětí

U_0 [V] - napětí naprázdno

U_z [V] - napětí při zatížení

t [hod, min] - čas

R_d [Ω] - diferenciální odpor

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Olověné akumulátory.....	10
2.1 Konstrukce olověného akumulátoru.....	11
2.1.1 Nádobu akumulátoru	11
2.1.2 Víko akumulátoru	11
2.1.3 Separátor.....	11
2.1.4 Články	11
2.1.5 Elektrolyt	11
2.2 Činnost článku akumulátoru	12
2.2.1 Elektrochemická reakce při vybíjení.....	12
2.2.2 Elektrochemická reakce při nabíjení	12
2.3 Základní pojmy	13
2.3.1 Jmenovitá kapacita akumulátoru	13
2.3.2 Napětí akumulátoru	13
2.3.3 Proud	13
2.3.4 Vnitřní odpor	13
2.4 Negativní jevy při provozování akumulátoru	14
2.4.1 Hluboké vybíjení.....	14
2.4.2 Sulfatace.....	14
2.4.3 Samovybíjení	14
2.4.4 Zkratky mezi elektrodami.....	14
2.5. Základní rozdělení olověných akumulátorů	15
2.5.1 Rozdělení z hlediska údržby	15
2.5.2 Rozdělení z hlediska typu elektrolytu	15
2.5.3 Rozdělení z hlediska způsobu uzavření nádoby	16
3. Nabíjení olověných akumulátorů.....	17
3.1 Metody nabíjení podle základních charakteristik	17
3.1.1 Nabíjení konstantním napětím s proudovým omezením.....	17
3.1.2 Nabíjení konstantním proudem	18
3.1.3 Kombinovaná nabíjecí metoda " IU "	18

3.1.4 Nabíjecí charakteristika W	19
3.2 Nabíjení akumulátoru se zaplavenými elektrodami (údržbový)	19
3.3 Nabíjení hermeticky uzavřených akumulátorů (AGM,Gelový)	20
4. Lithiové akumulátory	20
4.1 Úvod, základní vlastnosti.....	20
4.2 Li-Ion akumulátor	20
4.2 Li-Pol akumulátor	20
4.3 Výhody a nevýhody Lithiových akumulátorů	21
4.4 Nabíjení lithiových akumulátorů	21
5. Experimentální měření	22
5.1 Nabíjecí charakteristiky akumulátorů	22
5.2 Vybíjecí charakteristiky akumulátorů.....	25
5.3 Diagnostika zbytkové kapacity akumulátoru	29
5.3.1 Určení zbytkové kapacity pomocí zatěžovacího napětí	29
6. Závěr.....	35

1. Úvod

Pojem olověný akumulátor je již znám od druhé poloviny 19. století, přesto mají tyto zdroje elektrické energie široké uplatnění ve veškeré technické praxi. S vývojem nových technologií rostou náročnější požadavky na techniku a bezpečnost, s tím souvisí i zdokonalování akumulátorů. Na trhu je celá řada baterií, které se vzájemně liší konstrukčním provedením, použitím různého typu elektrolytu, údržbou a dalšími vlastnostmi. Pro funkčnost a dlouhodobí provoz baterie je důležitá již zmíněná údržba a správná manipulace. Z praktického hlediska je důležité, aby akumulátor byl cyklicky nabíjen a vybíjen, aby nedocházelo k negativnímu ovlivňování jeho parametrů, především ke snižování kapacity. [14]

Co se týče nabíjení, máme několik charakteristik podle, kterých určujeme metodu nabíjení pro danou baterii. Vhodnost použití metody je závislá na typu akumulátoru. Například u hermeticky uzavřených akumulátorů je nejvhodnější použít kombinovanou metodu "IU", popřípadě nabíjení konstantním napětím s omezením proudu. U vybíjecích charakteristik je důležitá hodnota odpojovacího napětí, která se mění v závislosti na velikosti zatěžovacího proudu. Tyto hodnoty lze dohled v datasheetech. [1]

V této bakalářské práci je proveden rozbor provozu jednotlivých akumulátorů, který se týkal nabíjení a vybíjení. Posledním úkolem bylo navrhnout metodu pro určení zbytkové kapacity baterií.

2. Olověné akumulátory

Obecně řečeno akumulátor nebo-li baterie patří mezi zdroje elektrické energie, které vykazují nejen vlastnost energii vydávat, ale také akumulovat. Princip funkčnosti je založen na elektrochemických reakcích, tzn. v případě nabíjení se mění elektrická energie na chemickou, v případě vybíjení se mění chemická na elektrickou. Tento typ baterie našel široké uplatnění v mnoha technických oborech, ovšem největší využití má u motorových vozidel. Je to z toho důvodu, že při startování automobilů jsou kladeny požadavky na velké odběrové proudy v řádech stovek ampér při nízkém poklesu svorkového napětí. Další výhodou je malý vnitřní odpor, technická literatura udává hodnotu v řádech miliohmů [mΩ], k pozitivum patří také poměrně nízká cena a prověřená technologie výroby. Za nevýhodu můžeme považovat značnou hmotnost. Akumulátor patří do skupiny sekundárních článků, kdežto za primární označujeme ty články, kde dochází k nevratnému vybíjení-elektrická energie se snižuje, až do jejího vyčerpání, bez možnosti jejího obnovení tedy dobítí.



Obr. 2.1: bezúdržbová autobaterie o kapacitě 74Ah/12V

2.1 Konstrukce olověného akumulátoru

Akumulátor je tvořen "plastovým kontejnerem" na jehož vrchní straně je vyveden kladný a záporný pól v případě, že se jedná o akumulátor vyžadující údržbu je doplněn odvětrávacími zátkami. Vnitřní struktura se skládá z jednotlivých článků, které jsou propojeny vzájemně do série. Články v podstatě tvoří systém kladných a záporných olověných desek, které jsou vzájemně odděleny separátorem a ponořeny do zředěné kyseliny sírové. V případě má-li baterie jmenovité napětí 12V obsahuje šest článků po 2V. [3]

2.1.1 Nádoba akumulátoru

Slouží jako ochranný obal a zároveň slouží jako nádobka pro elektrolyt, je rozdělena na buňky, které obsahují články. Desky článků jsou upevněny v dostatečné vzdálenosti ode dna nádoby čímž je vytvořen prostor pro části desek, které se uvolní a odpadnou z jejich povrchu v průběhu životnosti akumulátoru. [3]

2.1.2 Víko akumulátoru

U víka je nutné, aby bylo pevně spojeno s nádobou, jedná-li se o pryžovou nádobu, spoj je zalit pomocí asfaltu, v případě plastové nádoby dochází k zatavení nebo je víko přilepeno. Jak již bylo zmíněno, ve víku jsou otvory pro pólové nástavce a odvětrávací zátky, které slouží pro kontrolu stavu akumulátoru, dolití destilované vody a hlavně pro únik vodíku, který vzniká jako vedlejší prvek při nabíjení. [3]

2.1.3 Separátor

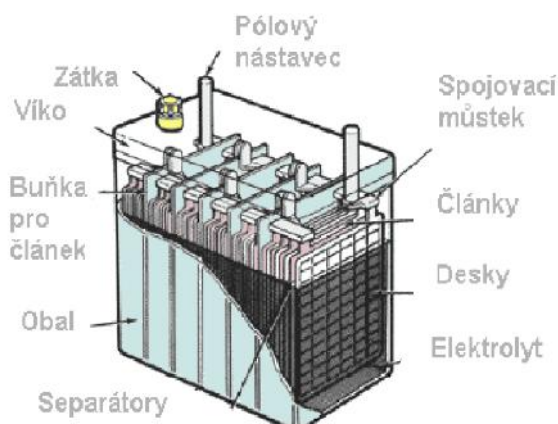
Funkce separátoru spočívá v oddělení kladné a záporné desky článku tedy slouží jako izolační vrstva. Jako výrobní materiál slouží impregnovaný papír, plastické hmoty nebo skelná vlákna všechny tyto materiály musí být odolné vůči kyselině sírové a zároveň musí umožnit průchod elektrolytu, ovšem musí zabránit přímému kontaktu kladných a záporných desek (zkratu). [3]

2.1.4 Články

Jde o paralelní spojení skupin kladných a záporných elektrod, které jsou odděleny separátorem takto vzniklé uskupení, vytvoří článek, jež se nachází v oddělených buňkách nádoby akumulátoru. [3]

2.1.5 Elektrolyt

Elektrolyt je látka tvořící roztok z kyseliny sírové a destilované vody, při chemické reakci vznikají kladné a záporné ionty což jsou částice umožňující vedení elektrického proudu. U plně nabitého olověného akumulátoru je elektrolyt tvořen roztokem obsahující 64% kyseliny sírové a 36 % destilované vody. [3]



Obr. 2.2: konstrukční uspořádání akumulátoru [3]

2.2 Činnost článku akumulátoru

Vznik elektrického napětí, které se objevuje na pólech článků je výsledkem chemické reakce probíhající v elektrolytu mezi dvěma různými kovy. V elektrolytu dochází k rozrušování vazeb atomů v molekulách kyseliny sírové a tím dochází k rozpadu původní struktury na volné ionty. Tyto částice se pak účastní jak nabíjecího tak vybíjecího cyklu a reagují s aktivními hmotami elektrod. V akumulátoru v každém okamžiku dochází k chemické reakci mezi deskami a elektrolytem. Směr reakce právě závisí, zda dochází k nabíjení nebo vybíjení, je-li akumulátor vybíjen, klesá hustota elektrolytu a ten se rozkládá na vodu, přičemž na elektrodách se tvoří krystaly síranu olovnatého. [1] [3]

2.2.1 Elektrochemická reakce při vybíjení

Proud prochází od záporné ke kladné elektrodě, z rozdílu potenciálů, které jsou důsledkem reakcí mezi aktivní hmotou elektrod a elektrolytem, vzniká na elektrodách elektromotorické napětí. Elektrodový potenciál kladné elektrody je zhruba 1,69V u záporné pak činí 0,36V. Reakce při vybíjení trvá tak dlouho, dokud se nespotřebují aktivní hmoty elektrod a dokud se kyselina sírová zcela nerozloží. Rovnici můžeme vyjádřit následovně:



2.2.2 Elektrochemická reakce při nabíjení

Tato reakce je obdobná jako u vybíjení s tím rozdílem, že proud teče opačným směrem. Síran olovnatý se přeměňuje na aktivní hmotu, na kladné elektrodě se tvoří červenohnědý oxid olovičitý a na záporné elektrodě "houbovitě olovo", přičemž do elektrolytu se vylučuje kyselina sírová a elektrolyt houstne. Rovnici můžeme vyjádřit následovně:



2.3 Základní pojmy

2.3.1 Jmenovitá kapacita akumulátoru

Udává, jak velký elektrický náboj může akumulátor poskytnout při jeho vybíjení. Značí se písmenem "C" a vyjadřuje se v ampérhodinách [Ah] popřípadě v miliampérhodinách [mAh]. Obvykle bývá udávána, pro zatěžovací proud, který je schopna baterie dodávat po dobu dvaceti hodin. Máme-li například označení C_{20} (40Ah) znamená to, že při zatížení proudem po dobu 20 hodin dosahuje akumulátor kapacity 40 Ah nebo-li po dobu dvaceti hodin dokáže odebírat proud o velikosti 2A. Nutno brát v potaz, že při různém proudovém odběru se kapacita mění, v tomto případě hovoříme o skutečné kapacitě akumulátoru, která bývá také závislá na teplotě okolní i vnitřní (vlastní teplota akumulátoru) další faktor ovlivňující skutečnou kapacitu je počet nabíjecích a vybíjecích cyklů. [1]

2.3.2 Napětí akumulátoru

Udává se ve voltech [V] a jeho velikost je závislá na počtu článků. Na jeden článek připadají 2V, máme-li šesti článkovou baterii, výsledné napětí činí 12V. Obecně platí, že plně nabitý akumulátor má napětí naprázdno 12,6V-12,8V v případě vybití se jedná o hodnotu 10,5V při zatížení. Bavíme-li se o napětí měřeného při zatížení jeho hodnota je snížena o úbytek napětí na vnitřním odporu zdroje. [1]

2.3.3 Proud

U akumulátoru rozeznáváme dva typy proudu a to nabíjecí a vybíjecí. Bývá pravidlem, že hodnota nabíjecího proudu se omezuje na hodnotu 0,1C jinými slovy akumulátor o kapacitě 12Ah se doporučuje dobíjet proudem o velikosti 1,2A. Vybíjecí proud se pohybuje v širokém rozsahu jeho hodnota je dána velikostí odporové zátěže připojené k baterii. Maximální vybíjecí proudy tečou při vyzkratování, pro zajímavost akumulátor Alarmguard CJ12 o kapacitě 4,5Ah udává zatížení 67,5A po dobu 5s. V technické dokumentaci bychom našli přehled vybíjecích křivek pro různé vybíjecí proudy. [1]

2.3.4 Vnitřní odpor

Udává se v ohmech [Ω] a čím nižší hodnota vnitřního odporu, tím je akumulátor tvrdší. Ideální akumulátor má nulový vnitřní odpor a byl by proto schopen dodat prakticky jakýkoliv proud bez poklesu jeho svorkového napětí, takový ideální akumulátor však neexistuje. U skutečného akumulátoru dojde vždy k určitému poklesu napětí, což je dáno jeho vnitřním odporem. Čím větší odběr proudu, tím větší pokles napětí, čím menší vnitřní odpor, tím je tento pokles nižší. [1]

2.4 Negativní jevy při provozování akumulátoru

2.4.1 Hluboké vybíjení

V podstatné míře zkracuje životnost akumulátoru, při tomto vybíjení klesá úroveň napětí při zatížení k hodnotě 10,5V v horším případě i pod ní, proto je nutné akumulátor ihned dobít, jinak dojde k jeho sulfataci. V rámci zachování spolehlivého provozu se nedoporučuje do takové situace baterii přivést, jelikož při hlubokém vybití se nám už nemusí podařit akumulátor znovu nabít. Pro zachování dlouhé životnosti je však nutné, aby vybíjení bylo ukončeno při ztrátě 75%-80% z původní kapacity v odborné literatuře tomu odpovídá napětí naprázdno okolo 11,9V-12,2V. [1]

2.4.2 Sulfatace

Sulfatace je tvorba síranu olovnatého vznikajícího při vybíjení akumulátoru. Síran olovnatý tvoří na mřížkách drobné jemné krystalky, které se časem přetvářejí na větší. Tyto sírany svým nánosem snižují účinnou plochu mřížek, důsledkem je neúčast elektrod při elektrochemické reakci. Tento proces snižuje kapacitu akumulátoru a zvyšuje jeho vnitřní odpor. Pokud síran olovnatý svým objemem převyšuje objem aktivních hmot, dochází k mechanickému namáhání článků a k postupnému odpadávání aktivních hmot. Jak již bylo zmíněno sulfataci "podporuje" hluboké vybíjení. Příznaky doprovázející sulfataci jsou snížená kapacita akumulátorů, brzké zahřívání elektrolytu, zvýšení svorového napětí. [1]

2.4.3 Samovybíjení

Samovybíjení je přirozený jev, který se vyskytuje u všech typů akumulátorů. V technické literatuře se můžeme dočíst, že samovybíjecí pochody způsobí u akumulátorů se zaplavenými elektrodami vybití zhruba za 6-9 měsíců. Pokud budeme sledovat po jaké době odstávky, klesne kapacita na 80% své původní hodnoty pak u gelové baterie to je za 6 měsíců, AGM za 4 měsíce a pro akumulátor se zaplavenými elektrodami cca 2 měsíce. Termodynamická nestálost kladné a záporné elektrody způsobuje reakci s vodným roztokem za uvolňování vodíku na záporné a kyslíku na kladné elektrodě. Kromě toho může oxid olovičitý reagovat chemicky s olovenou mřížkou, samovybíjení roste se zvětšující se koncentrací kyseliny sírové a s rostoucí teplotou. [1]

2.4.4 Zkraty mezi elektrodami

Nejčastější příčinou zkratů bývají výrobní vady, uvolňování zbytků aktivních hmot což je způsobeno sulfatací, nežádoucí jsou také vysoké nabíjecí a vybíjecí proudy. U některých typů akumulátorů se snižuje riziko zkratu za pomoci obálkových separátorů. Nabíjíme-li baterii vysokými proudy, dochází k zahřívání elektrolytu, proto je nutné teplotu kontrolovat, neměla by přesáhnout 40 °C. [1]

2.5. Základní rozdělení olověných akumulátorů

2.5.1 Rozdělení z hlediska údržby

Akumulátory vyžadující údržbu

Tento typ akumulátoru se řadí v dnešní době mezi nejstarší a klasické baterie lze ho snadno poznat podle odvětrávacích zátek, které se nacházejí ve víku. Účelem těchto zátek je vizuální kontrola hladiny elektrolytu, dolévání destilované vody a hlavně odvádění vodíku, jež vzniká při nabíjení tzv. plynování. Jsou-li součástí akumulátoru šroubovací zátky, můžeme říci, že se jedná o akumulátor se zaplavenými elektrodami (tento typ je označován i jako bezúdržbový). Údržba spočívá v kontrole hladiny elektrolytu, která klesá s odparem při vybíjení a již zmíněným plynováním. [1] [3]

Akumulátory "bezúdržbové"

Jako bezúdržbové akumulátory označujeme v podstatě hermeticky uzavřené akumulátory, jejich bezúdržbovost spočívá v tom, že nemusíme kontrolovat hladinu elektrolytu, jelikož nám to z konstrukčních důvodů není ani umožněno. V rámci "údržby" se provádí úkony, které spočívají v kontrole svorek -jejich mechanické připevnění nebo kontrola koroze. [1] [3]

2.5.2 Rozdělení z hlediska typu elektrolytu

Akumulátor se zaplavenými elektrodami

Jeho obě elektrody jsou legovány vápníkem, čemuž odpovídá i název této koncepce "kalcium-kalcium". Jedná se o kompozit, jehož základním prvkem je olovo, které je obohaceno prvky antimonu a vápníku. Takto vytvořená struktura elektrod má za následek snížení odparu vody, který dosahuje minimálních hodnot, což u starší koncepce struktury olovo-antimon nebylo možné. Tím je dosaženo, že hladina elektrolytu byť nepatrně klesá, se udržuje na bezpečné úrovni po dlouhou dobu životnosti akumulátoru. Konstrukčně se tedy jedná o klasický akumulátor, jehož elektrolyt je tvořen roztokem kyseliny sírové a destilované vody (tekutý elektrolyt). [1] [3]

Akumulátor AGM-s vázaným elektrolytem

Oproti akumulátoru se zaplavenými elektrodami má odlišné konstrukční řešení, které je přizpůsobené elektrodovým mřížkám. Je složen z kladných a záporných elektrod, jež jsou odděleny speciálním separátorem ze skelných vláken dotovaným bórem. Výhoda použití tohoto typu separátoru je vynikající iontová vodivost, umožňující rychlý průnik plynů a tím účinnou rekombinaci na záporné elektrodě, výborná je taktéž schopnost vázat elektrolyt. Akumulátor tohoto typu má elektrolyt vsáklý do separátorů, z podstaty věci vyplývá, že oproti elektrolytu se zaplavenými elektrodami se nekontroluje jeho hladina a nedolévá se destilovaná voda. Jeho výhodou je velký výkon při nízkých teplotách, zvýšená kapacita při snížení hmotnosti. [1] [3]

Akumulátor s gelovým elektrolytem

Gelové akumulátory jsou často chybně označovány za AGM, ano jako každý jiný akumulátor se skládá z kladných a záporných mřížek oddělených separátorem. Ovšem jak zní z jeho názvu "gelový" je elektrolyt vázaný v tixotropním křemičitém gelu, nikoliv v separátoru jak je to řešeno u AGM. Konstrukčně se podobá akumulátoru se zaplavenými elektrodami s tím rozdílem, že forma elektrolytu není v tekuté podobě nýbrž v gelové. Mezi jeho výhody patří nižší citlivost při provozování za zvýšené teploty, zvýšená kapacita akumulátoru při jeho hmotnostní redukci (zmenšení váhy). Podobně jako typ AGM jej můžeme zahrnout do skupiny hermeticky uzavřených akumulátorů. [1] [3]

2.5.3 Rozdělení z hlediska způsobu uzavření nádoby

Akumulátor s otevřenými články

Tento typ akumulátoru se vyznačuje tím, že články nejsou opatřeny víkem, z tohoto důvodu se nepoužívají v automobilovém průmyslu. [1] [3]

Akumulátor s uzavřenými články

Z důvodů unikajících plynů je akumulátor opatřen víčky s malými otvory. Jedná se taktéž o údržbový typ, jelikož musíme dolévat destilovanou vodu. [1] [3]

Hermeticky uzavřené

VRLA (Valve Ragulated Lead Acid)

Ventilem řízené olověné akumulátory, které jsou opatřeny přetlakovým ventilem z důvodu ochrany před zničením, v případě dojde-li k překročení stanovené hranice tlaku, ventil umožní jeho odpuštění. [1] [3]

SLA (Sealed Lead Acid)

Zcela uzavřený akumulátor bez přetlakových ventilů (není možný únik plynů), vznikající plyny při nabíjení jsou zpětně rekombinovány na vodu. Můžeme ho zařadit k bezúdržbovým akumulátorům, protože nemusíme dolívat destilovanou vodu, z konstrukčního hlediska nám to není ani dovoleno. [1] [3]

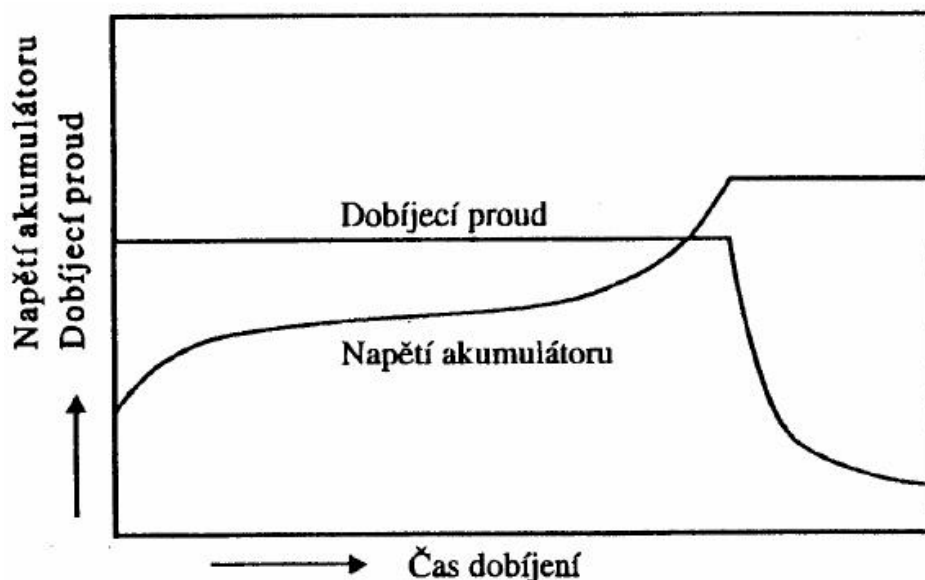
3. Nabíjení olověných akumulátorů

Působením nabíjecího proudu obnovujeme elektrický náboj vybitých akumulátorů, aby došlo ke stavu plného nabití je zapotřebí dodat elektrický náboj, jehož velikost bude o 15% větší než jaký vydal akumulátor při jeho vybití. Dobíjecí proud má zpravidla hodnotu $0,1C$ do vzestupu napětí na 14,4V. Je tedy nutno měřit velikost svorkového napětí, aby nedocházelo k poškození akumulátorů.

3.1 Metody nabíjení podle základních charakteristik

3.1.1 Nabíjení konstantním napětím s proudovým omezením

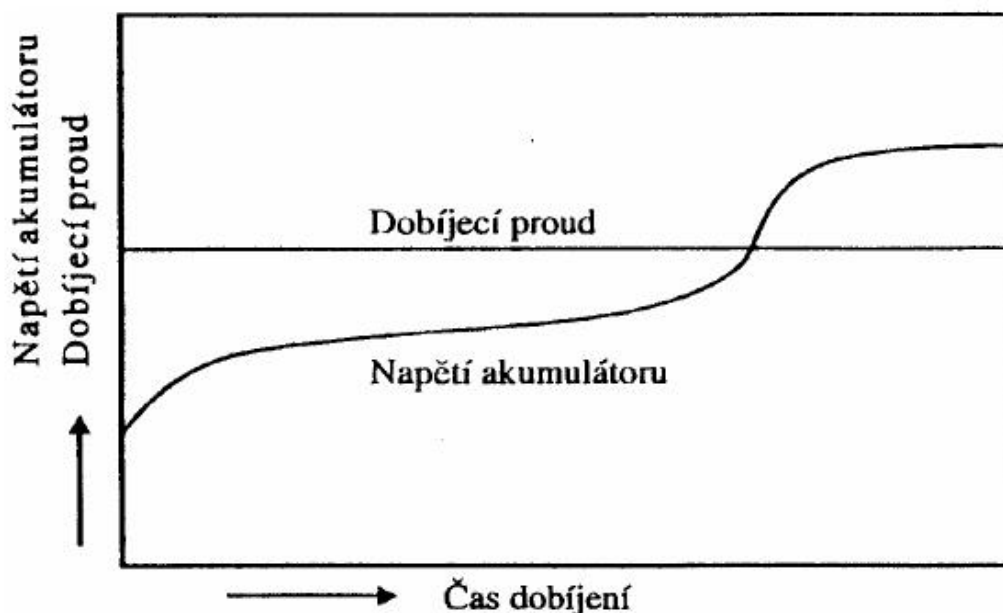
Tato metoda spočívá v nastavení hodnoty plynovacího napětí tedy na 14,4V. Po připojení nabíječky popřípadě zdroje elektrické energie začne protékat proud, jehož velikost závisí na hloubce vybití akumulátoru, abychom zabránili k nadměrným proudům, bývá pravidlem, že jeho velikost omezíme na $0,5C$ - $1C$. Velikost napětí na akumulátoru roste, zatímco dobíjecí proud klesá. Akumulátor můžeme považovat za nabitý, pokud nabíjecí proud dosahuje hodnot $0,002C$ v ustáleném stavu po dobu 2-3 hodin. V počáteční fázi nabíjení je nutno hlídat teplotu elektrolytu, neboť vlivem velkých dobíjecích proudů dochází k velkému vývinu tepla. Výhoda tohoto typu nabíjení spočívá v jeho rychlosti dobíjení, jako další pozitivum můžeme uvést, že v konečné fázi nabíjení nemusíme hlídat proud, který protéká pouze v řádech jednotek miliampér [mA]. Tento způsob nabíjení je vhodný pro hermeticky uzavřené akumulátory. [1] [2]



Obr. 3.1: průběh napětí a proudu při nabíjení konstantním napětím s omezením proudu [2]

3.1.2 Nabíjení konstantním proudem

Na zdroji elektrické energie nebo nabíječky se nastavuje hodnota, která odpovídá zpravidla 0,08C-0,1C. Máme-li akumulátor o jmenovité kapacitě 12 Ah, musíme nastavit dobíjecí proud na 0,96A-1,2A. Oproti nabíjení konstantním napětím je tato metoda pomalejší za výhodu lze považovat určení velikosti dodaného náboje, baterii o kapacitě 12Ah dobijeme cca za 10 hodin, použijeme-li dobíjecí proud 1,2A. Nevýhodou je fakt, že konečný dobíjecí proud je stejně velký jako ten počáteční a hrozí tedy přebíjení, které vede k devastacím účinkům akumulátoru. Z toho plyne, že v konečné fázi dobíjení je nutno sledovat neustále nabíjecí proud a zmenšovat jeho hodnotu, tato povinnost odpadá disponujeme-li tzv. "chytrou nabíječkou", která automaticky snižuje hodnotu proudu. [1] [2]



Obr. 3.2: průběhy napětí a proudu při nabíjení konstantním proudem [2]

3.1.3 Kombinovaná nabíjecí metoda "IU"

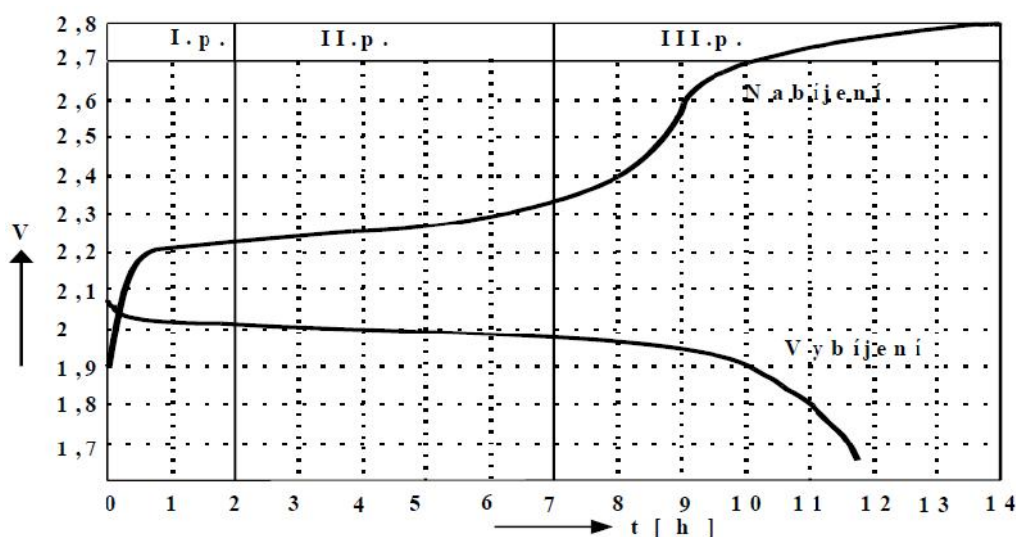
Metoda založena na nabíjení konstantním proudem do plynovacího napětí 14,4V při dosažení této hodnoty se "přepíná" do módu nabíjení konstantním napětím. Využívá se hlavně u hermeticky uzavřených akumulátorů. [1] [2]

3.1.4 Nabíjecí charakteristika W

Znamená nabíjení akumulátorů proudem klesajícím v závislosti na vzestupu napětí nabíjených akumulátorů. Poměr mezi počátečním a konečným nabíjecím proudem se nazývá strmost nabíječe. Pro olověné akumulátory vyhovuje počáteční nabíjecí proud $0,2C$ a konečný se pohybuje v řádech $0,05C$. Výhoda spočívá v jednoduchosti nabíjení, problémem tohoto typu nabíjení je závislost proudu na kolísání napájecího napětí. [11]

3.2 Nabíjení akumulátoru se zaplavenými elektrodami (údržbový)

Před zahájením samotného nabíjecího procesu odšroubujeme zátky a zkontrolujeme hladinu destilované vody, v případě nutnosti dolijeme patřičné množství. Nabíjení lze rozdělit do tří fází, kdy v první vzniká kyselina sírová, která se usazuje v pórech olověných desek, napětí



Obr. 3.3: průběh napětí akumulátoru se zaplavenými elektrodami při nabíjení [2]

dosahuje velikosti $13,2V$, hustota elektrolytu se zvyšuje na $1,15g/cm^3$. Ve druhé fázi pokračuje přeměna síranu olovnatého až do vzrůstu napětí $14,7V$ při zvýšení hustoty elektrolytu na $1,25g/cm^3$. V poslední fázi tedy při překročení $14,7V$ se začíná voda rozkládat na kyslík a vodík. Akumulátor začíná "bublat" odborně řečeno plynovat, proto je nutné mít otevřené zátky, při rozložení veškerého síranu olovnatého je hodnota svorkového napětí $16,2V$ - $16,8V$, hustota elektrolytu je $1,28g/cm^3$. Během nabíjení hlídáme teplotu elektrolytu, která by neměla překročit $40^{\circ}C$. [1] [2]

Tab.1 určení kapacity akumulátoru dle svorkového napětí [1]

$U_0 [V]$	12,6-12,8	12,4-12,5	12,1-12,2	11,9-12,0	11,8
Stav nabití [%]	100	75	50	25	vybitý

3.3 Nabíjení hermeticky uzavřených akumulátorů (AGM, Gelový)

Princip dobíjení u obou typů akumulátorů je totožný musíme si však dát pozor na velikost dobíjecího napětí, v případě akumulátoru AGM je jeho hodnota 14,6V kdežto u gelových číni velikost 14,4V. Vhodnou volbou pro nabíjení hermeticky uzavřených akumulátorů je buď metoda nabíjení konstantním napětím nebo kombinovaná metoda "IU". [1]

4. Lithiové akumulátory

4.1 Úvod, základní vlastnosti

Lithiové baterie se vyznačují vysokou měrnou energií a kapacitou, jejich výhoda spočívá i v nízkém samovybíjení, díky těmto vlastnostem je můžeme považovat za nástupce NiCd a NiMH akumulátorů. V prvopočátcích se u lithiových baterií používalo kovové lithium, s nímž v praxi bylo spojeno mnoho negativních důsledků, které mají charakter v podobě korozního nebo hůře výbušného, protože při styku lithia se vzdušným kyslíkem dochází k hoření. Tento problém byl odstraněn při zavedení kysličníku lithia (LiCo_2) místo chemicky nestabilního kovového lithia. Dnes rozeznáváme dva druhy Li-Ion a Li-Pol, které jsou odlišné svojí konstrukcí a napěťovými rozsahy, lithiové akumulátory řadíme do skupiny hermeticky uzavřených (SLA). [13]

4.2 Li-Ion akumulátor

Kladná elektroda je složena z lithio-kobaltového oxidu, záporná elektroda obsahuje sloučeniny uhlíku a grafitu výsledkem je jmenovité napětí o hodnotě 3,6V. Elektrolyt tvoří organická rozpouštědla, v případě vytečení hrozí poleptání kůže, proto se uzavírají do kovových plášťů. Oproti NiCd při stejné velikosti pojmu mnohonásobně více elektrického náboje, jejich velkou předností je "neznalost paměťového efektu". Tento typ baterie se nepoužívá u spotřebičů, kde je požadavek na velký proudový odběr, docházelo by k zahřívání a k prudkému poklesu napětí. [9]

4.2 Li-Pol akumulátor

Ve srovnání s Li-Ion nepoužívá tekutý elektrolyt nýbrž pevný, můžeme tedy konstatovat, že článek nepotřebuje ochranný obal, stačí použít pokovenou nebo hliníkem pokrytou umělou fólii. Zásadní rozdíl spočívá v konstrukčním charakteru, Li-Pol nedisponuje přímo separátorem, elektrody jsou oddělené pevným elektrolytem. Lze je vyrobit s extrémní minimální tloušťkou v řádech milimetrů v libovolném tvaru. Nejčastěji se s nimi setkáme u mobilních telefonů, kamer menších rozměrů a ultrabooků. V porovnání s Li-Ion jsou při stejné kapacitě lehčí o 10%-15% za cenu většího objemu 10%-20%, jejich výhoda spočívá i ve funkčnosti při nižších teplotách (-15°C). [9]

4.3 Výhody a nevýhody Lithiových akumulátorů

Výhody

- vysoké napětí 3,6V oproti 1,2V NiCd a NiMH
- vysoká energie
- nízká hmotnost
- dlouhá životnost (při správném zacházení) až 1500 cyklů
- nízké samovybíjení
- netrpí tzv. paměťovým efektem
- velké změny napětí při vybití (lepší indikace zbytkové kapacity akumulátoru)

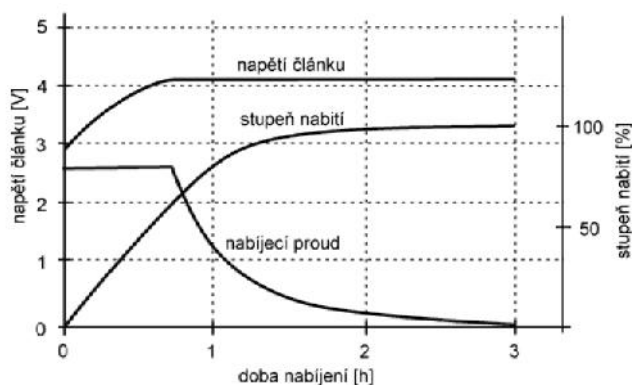
Nevýhody

- omezení nabíjecího a vybíjecího proudu
- pomalejší nabíjení 2-3 hodiny, NiCd 15 min
- velký vnitřní odpor 10x větší než u NiCd
- menší rozsah pracovní teploty
- náchylné na přebíjení a podbíjení (musí obsahovat řídicí elektroniku)
- vyšší prodejní cena

Pozn. dle výhod a nevýhod lze poznat, že Lithiové akumulátory jsou srovnávány s NiCd a NiMH akumulátory

4.4 Nabíjení lithiových akumulátorů

Jelikož se jedná o hermeticky uzavřené akumulátory typu SLA, vhodnou metodou pro nabíjení je buď kombinovaná " IU " nebo napěťová s omezujícím dobíjecím proudem. Při nabíjení je nutno dodržet přesně stanovenou hodnotu konečného nabíjecího napětí tedy 4,1V nebo 4,2V s tolerancí $\pm 1\%$, již malé překročení tohoto tolerančního pásma způsobuje podstatné snížení životnosti článku. Proud se zpravidla omezuje na 0,1-1C. [7] [8]

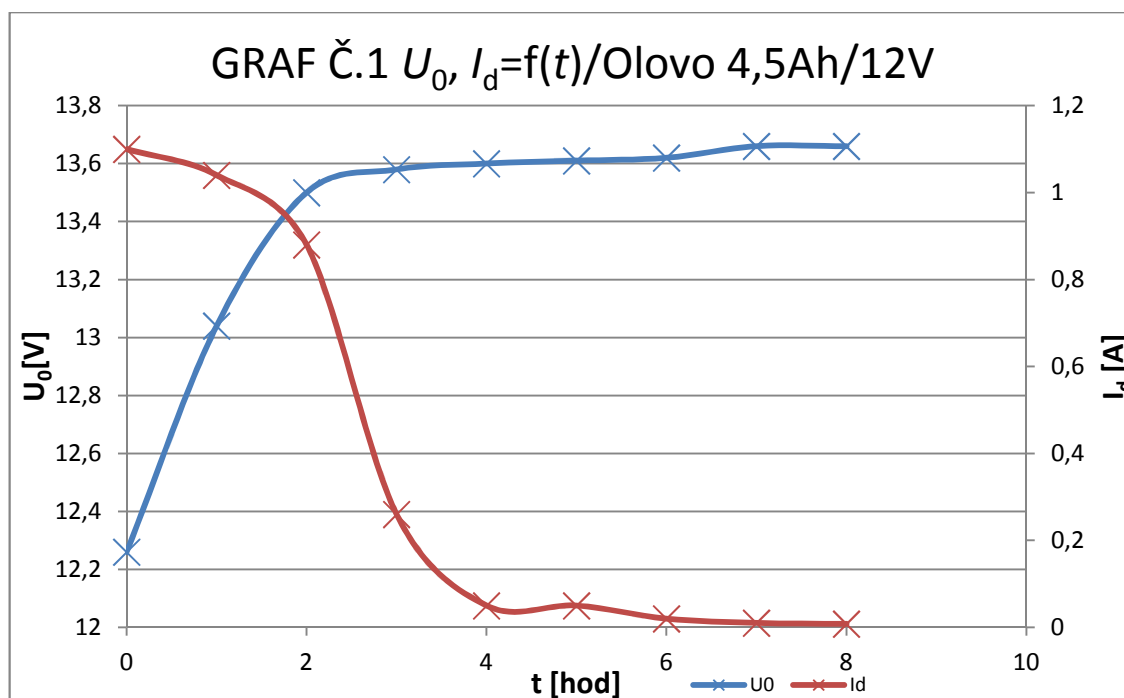


Obr. 4.1: průběhy napětí a proudu při nabíjení [7]

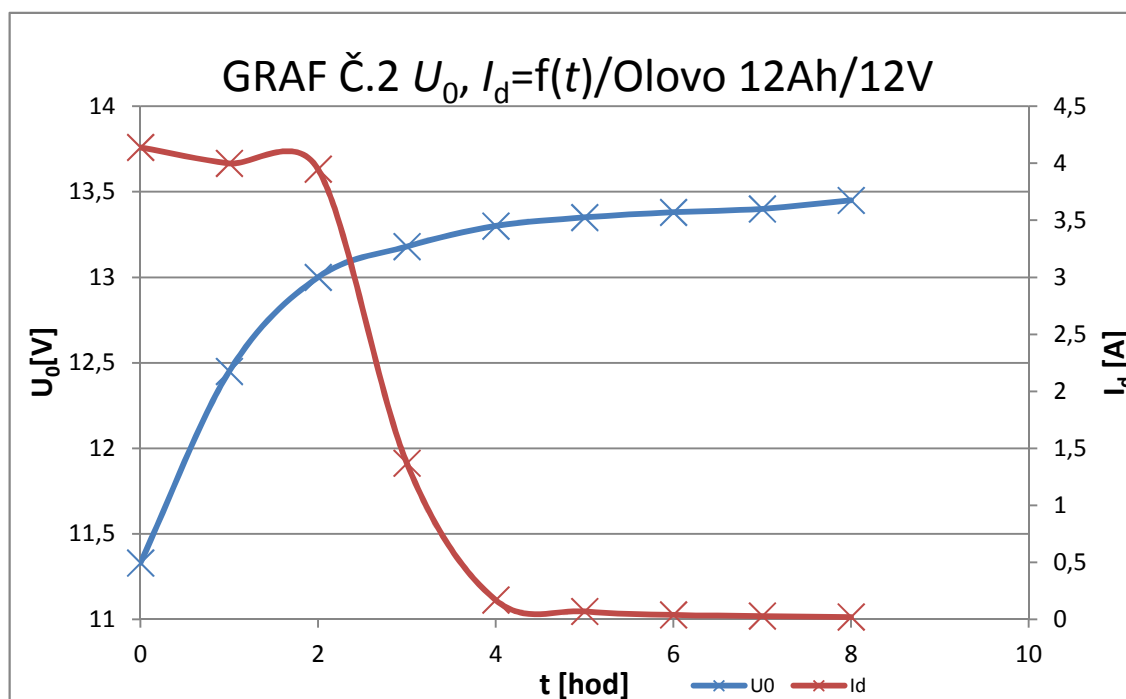
Na obr. 6 jsou zobrazeny typické průběhy napětí a proudu při kombinované metodě nabíjení "IU". Jak už bylo řečeno, tento typ baterie se nabíjí 2-3 hodiny z obr 6. je patrné, že nabíjení začíná konstantním proudem. Při dosažení konečného napětí (4,1V nebo 4,2V) se přechází na dobíjení konstantním napětím, v tomto okamžiku je baterie nabitá zhruba na 60% své celkové kapacity. V další fázi proud klesá a jeho konečná hodnota by se měla pohybovat kolem 0,05C, napětí si udržuje konstantní závislost. [7] [8]

5. Experimentální měření

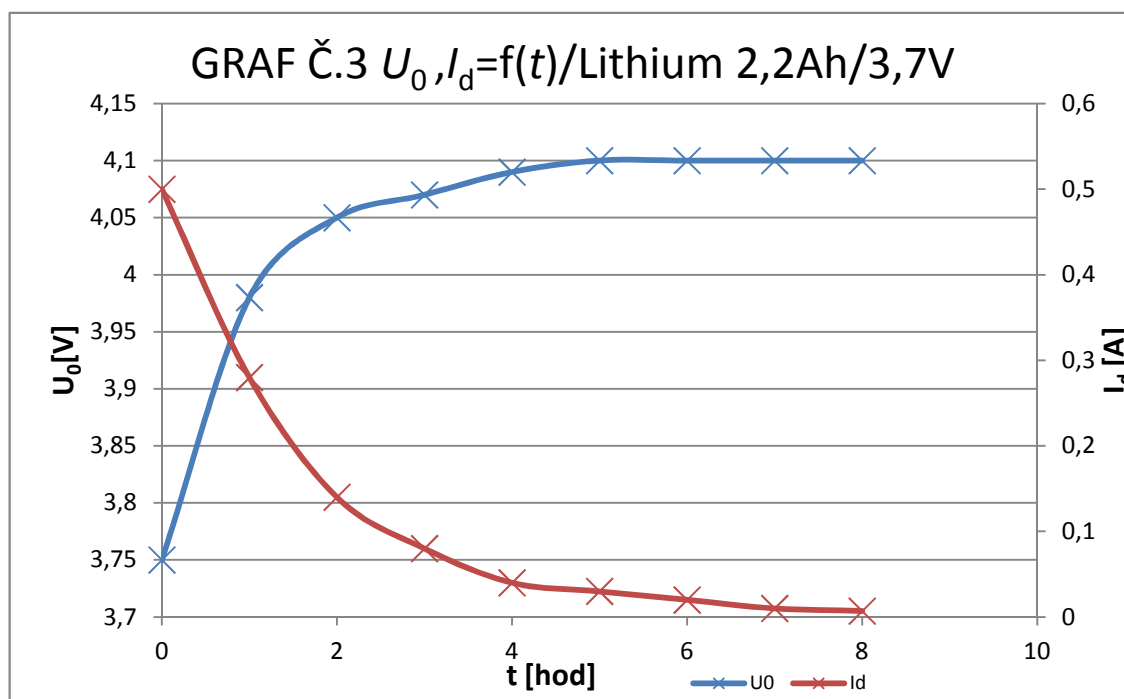
5.1 Nabíjecí charakteristiky akumulátorů



Na grafu č.1 je zobrazena závislost napětí a proudu na čase pro nabíjení olověného akumulátoru typu AGM. Pro nabíjení byla zvolena metoda konstantním napětím s omezením proudu. Na zdroji napětí byla nastavena hodnota 14,65V, proud byl omezen na 1,1A. Z průběhu grafu č.1 je patrné, že napětí po dobu dvou hodin od začátku nabíjení má strmý lineární vzrůstající charakter, následně dochází k ustálení nabíjecího napětí, z toho vyplývá konstantní křivka nabíjení. Co se týče dobíjecího proudu je patrné, že ten bude klesat se zvyšujícím se napětím. Nabíjení bylo přerušeno, když dobíjecí proud dosahoval hodnoty 0,002C v našem případě to znamenalo při 9mA. Viz tab.102, příloha č.7.

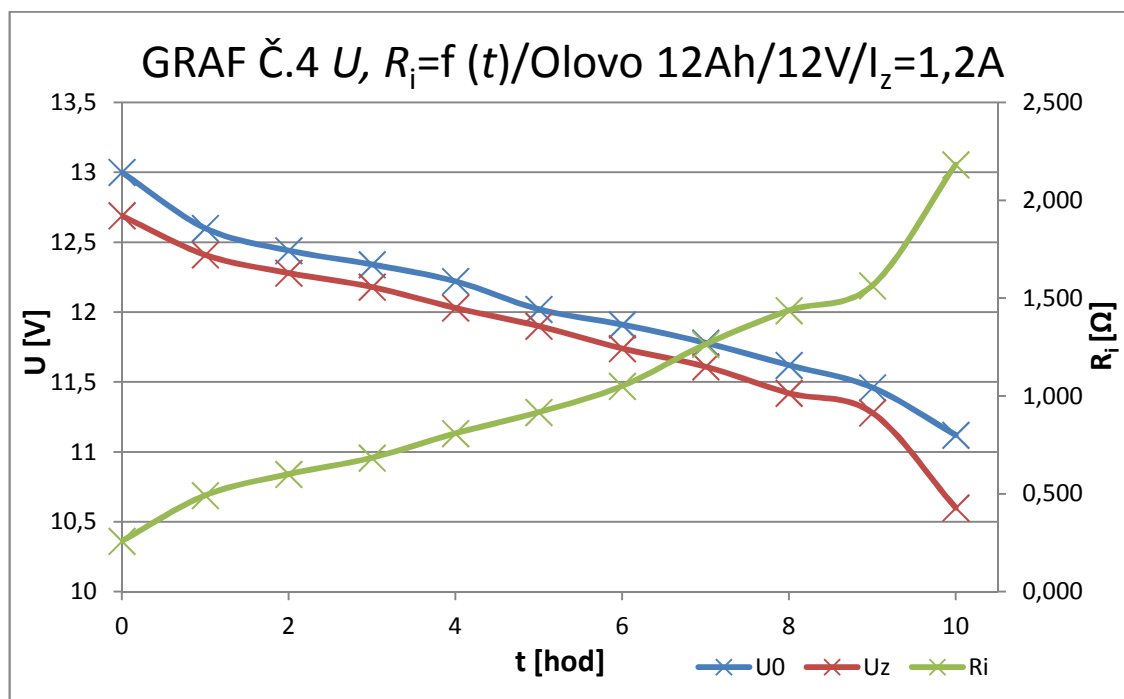


Na grafu č.2 je zobrazena závislost napětí a proudu na čase pro nabíjení olověného akumulátoru typu AGM o jmenovité kapacitě 12Ah. Z grafu č.2 vyplývá, že metoda při nabíjení odpovídá nabíjení konstantním napětím s omezením proudu. Po dobu dvou hodin od začátku nabíjení dochází k mírnému poklesu proudu, poté mezi druhou a čtvrtou hodinou začíná proud strmě klesat, zatímco napětí přechází od hodnoty 13,3V do konstantního průběhu nabíjení. Dobíjení bylo přerušeno v okamžiku, kdy dobíjecí proud dosáhl 0,002C tedy při 24mA. V grafu č.2 si můžeme taktéž všimnout, že čím víc se akumulátor nabíjí tedy dosahuje úrovně nabíjecího napětí (rozdíl potenciálu mezi baterií a zdrojem se stále zmenšuje) tím se velikost proudu blíží k nulové hodnotě. Z tohoto důvodu je tato metoda nejčastěji používaná při nabíjení hermeticky uzavřených akumulátorů, jelikož se nemusíme obávat přebíjení jak je to u metody nabíjení konstantním proudem. Viz tab.108, příloha č.7.

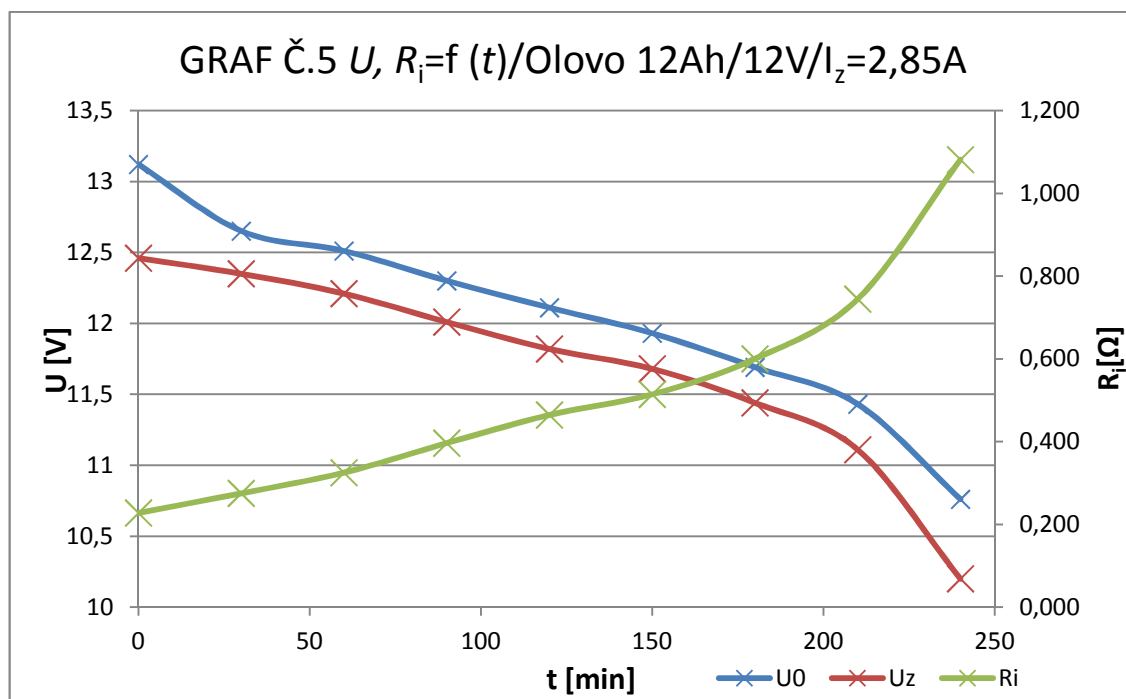


Na grafu č.3 je zobrazena závislost napětí a proudu na čase pro nabíjení lithiové baterie o jmenovité kapacitě 2,2Ah. Na zdroji napětí bylo nastaveno napětí o hodnotě 4,1V, dobíjecí proud byl omezen na 0,5A. Z průběhu grafu č.3 je patrné, že se jedná o metodu nabíjení konstantním napětím s omezením proudu. Budeme-li popisovat proudovou křivku zjistíme stejně jako v předchozích případech (graf č.1 a graf č.2), že se vzrůstajícím napětím dochází k poklesu proudu, který má exponenciální závislost. U napětí dochází k prudkému nárůstu během dvou hodin, poté dochází k ustálení dobíjecího napětí na hodnotě 4,1V. Nabíjení bylo přerušeno v okamžiku, kdy dobíjecí proud dosahoval hodnot 0,003C tedy 7mA. Výhodou metody nabíjení konstantním napětím je rychlé obnovení elektrické energie. Viz tab.104, příloha č.7.

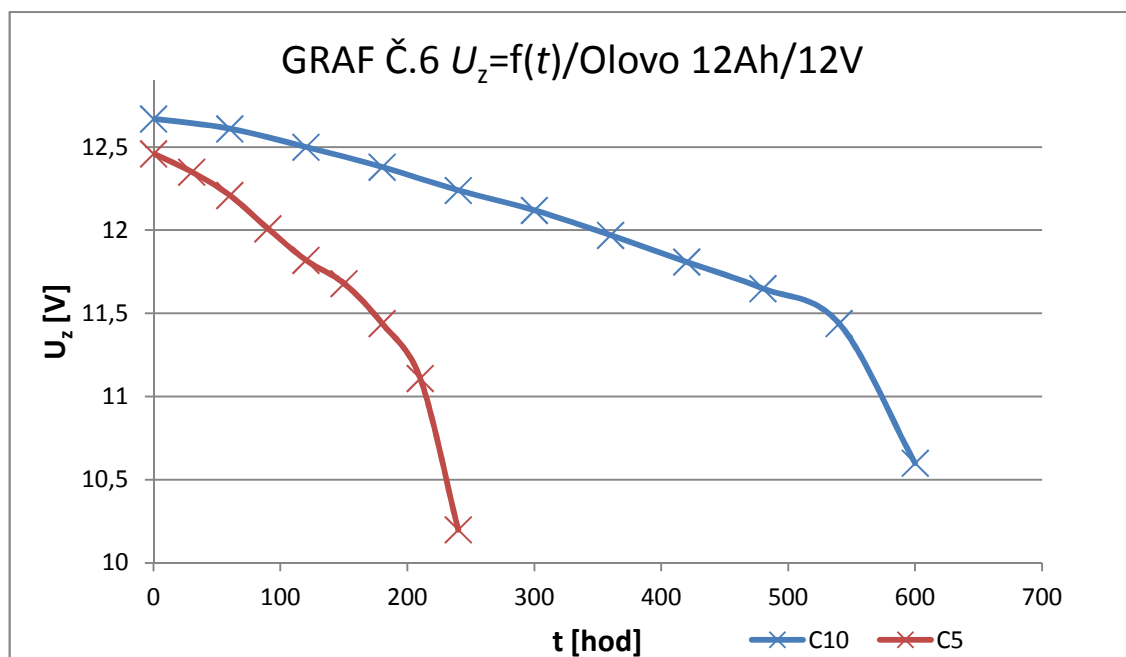
5.2 Vybíjecí charakteristiky akumulátorů

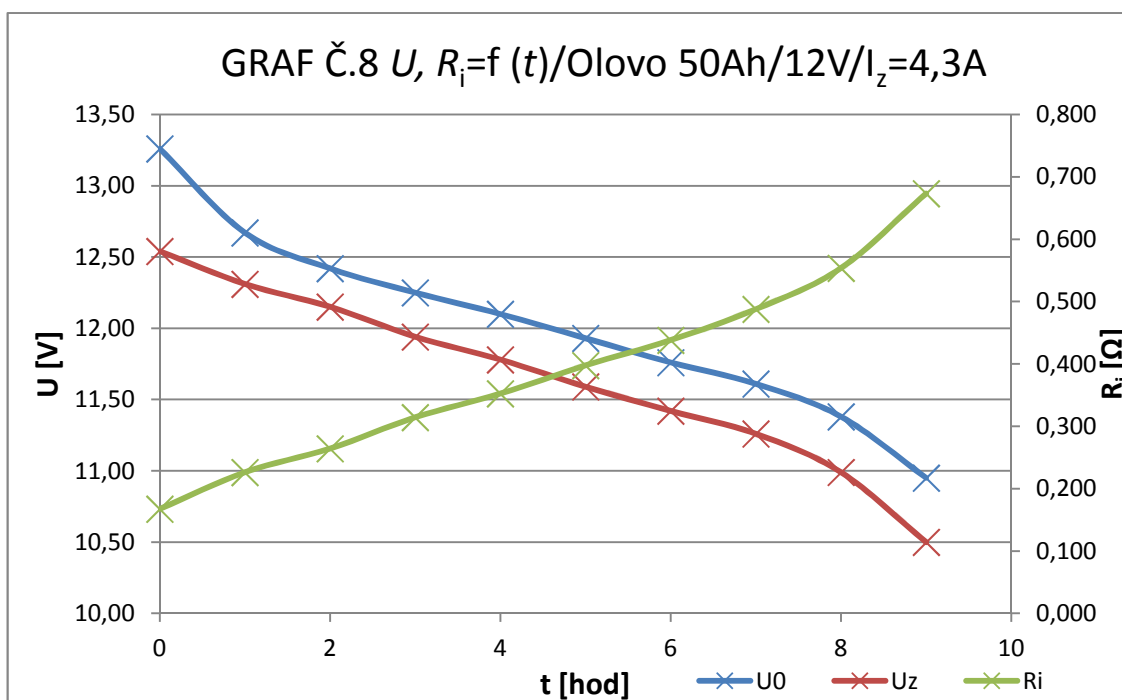
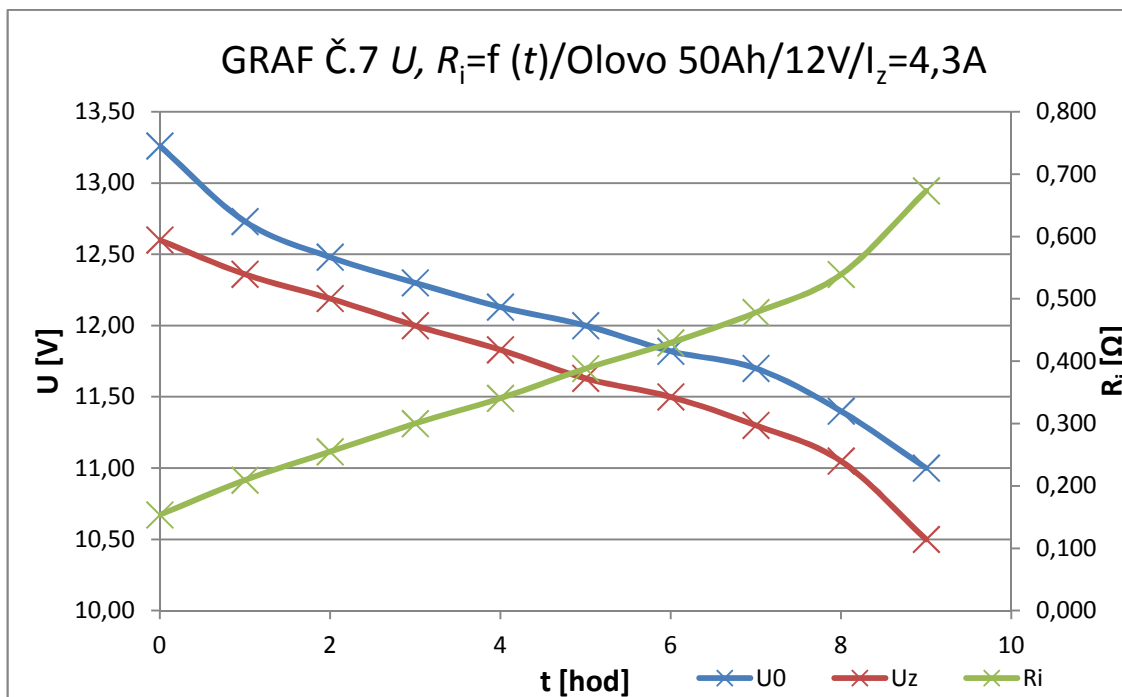


Na grafu č.4 je zobrazena vybíjecí charakteristika olověného akumulátoru typu AGM při zatěžovacím proudu 1,2A. Napětí při zátěži (U_z) má největší pokles v první hodině od začátku vybíjení poté následuje pozvolný lineární pokles. Po devíti hodinách vybíjení následuje prudký pokles napětí, což v podstatě znamená, že akumulátor je téměř vybitý. Dle datasheetu je pro zatěžovací proud 1,2A odpojovací napětí ($U_{cut\ off}$) 10,6V. V průběhu vybíjení se měnil proud v rozsahu 1,2-1,1A dle tohoto zatěžovacího proudu jsme mohli spočítat kapacitu akumulátoru dle vzorce $C = I_z \cdot t = 1,1 \cdot 10Ah$ v našem případě vypočtená kapacita vyšla na 10Ah. Popíšeme-li průběh napětí naprázdno (U_0) ten v podstatě "kopíruje" průběh napětí při zatížení s tím rozdílem, že U_0 má pochopitelně větší hodnotu. Na grafu č.4 je taktéž zobrazen průběh vnitřního odporu, který má lineární charakter s menšími odchylkami, největší změna velikosti vnitřního odporu nastává v okamžiku kdy je akumulátor téměř vybitý. Viz tab.2, příloha č.1.

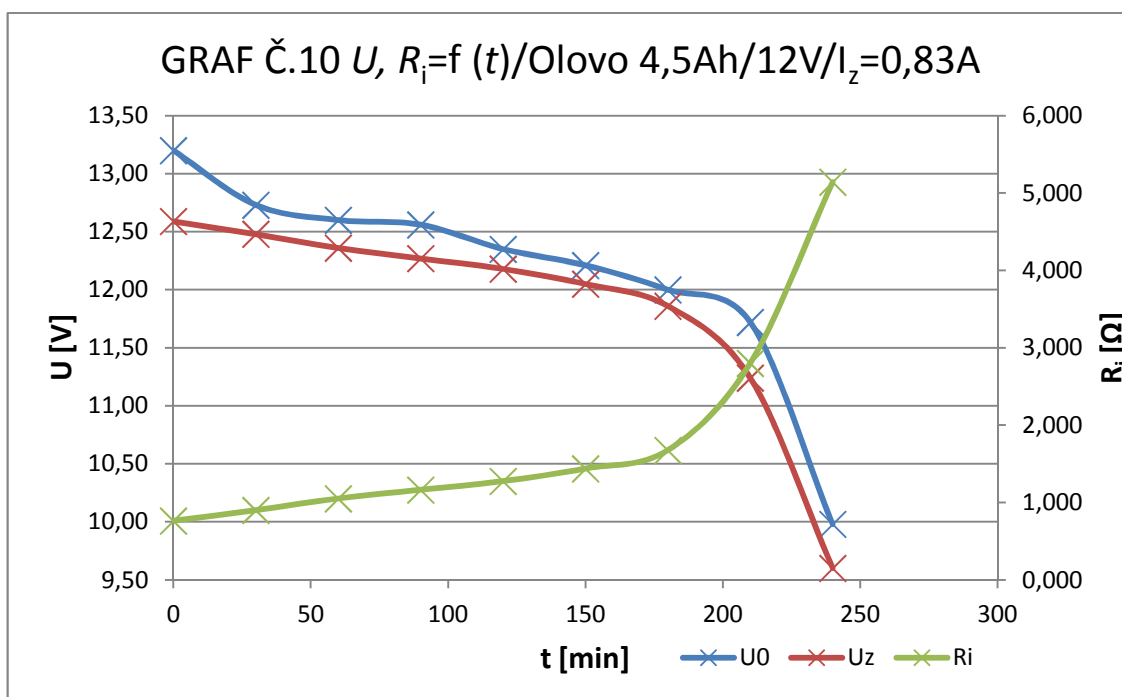
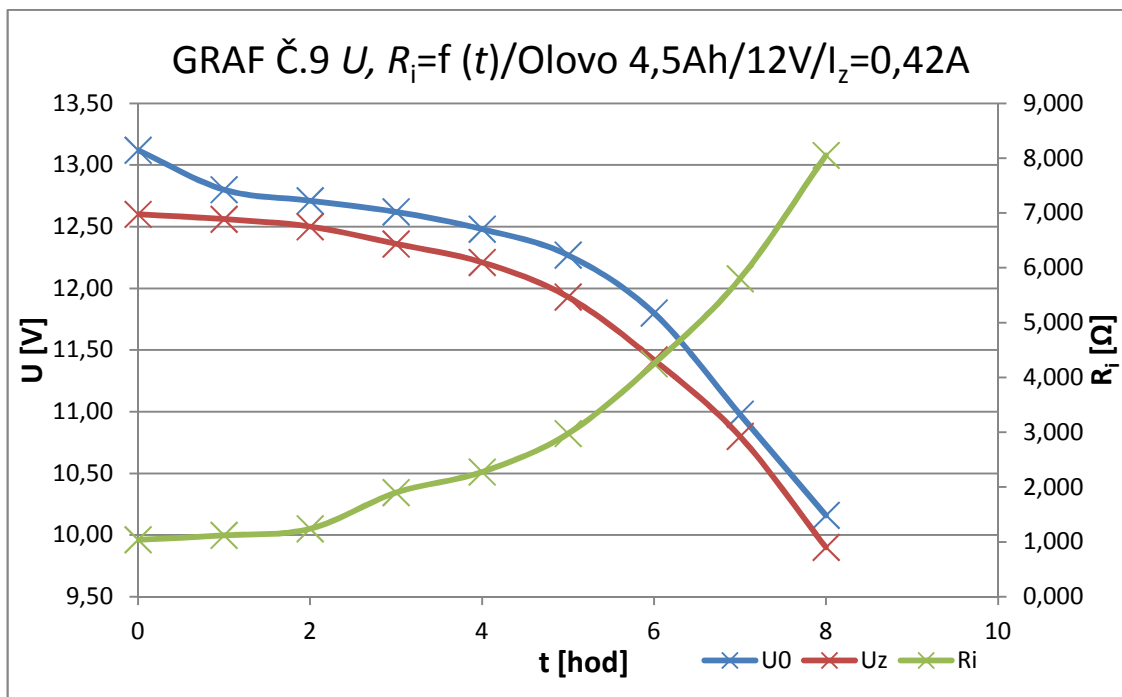


Na grafu č.5 je zobrazena vybíjecí charakteristika olověného akumulátoru typu AGM při zatěžovacím proudu 2,85A, jinými slovy taktéž řečeno vybíjecí charakteristika pro C₅. Průběh napětí má pozvolný klesající lineární charakter, v posledních třiceti minutách dochází k prudkému poklesu napětí, které charakterizuje vybití akumulátoru v krátké době. Vybíjecí proud kolísal v rozmezí 2,9-2,7A, co se týče vnitřního odporu ten má vzrůstající lineární průběh, v okamžiku kdy je rozdíl mezi napětím naprázdno a při zatížení největší dochází k prudkému nárůstu vnitřního odporu. Viz tab.31, příloha č.2.





Na grafech č.7 a 8 jsou vybíjecí charakteristiky pro olověný akumulátor o kapacitě 50Ah, jelikož kapacita se mění v závislosti na vybíjecím proudu v našem případě vyšla 36Ah. Napětí má opět klesající lineární charakter, naopak vnitřní odpor s klesajícím napětím roste. Tyto dva grafy mají demonstrovat rozdíl mezi prvním a posledním měřením, při porovnání zjistíme, že rozdíly jsou nepatrné. Viz tab. 32 a 55, příloha č.3.

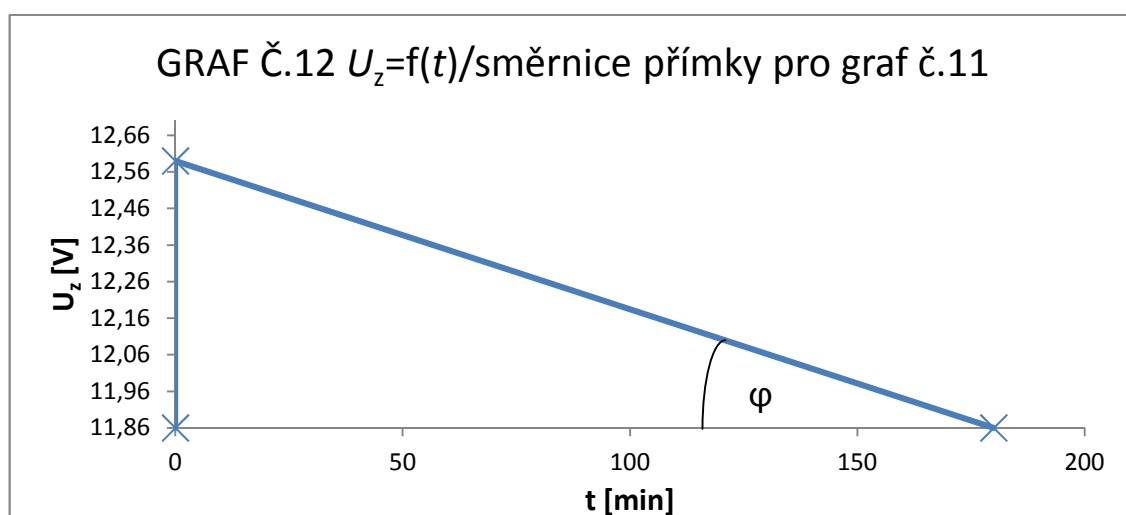
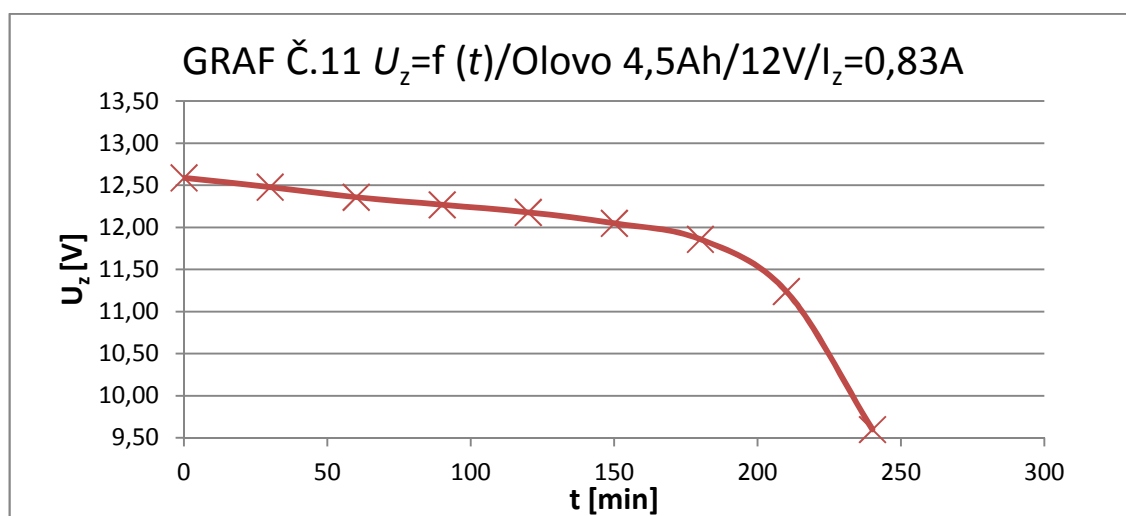


V grafech č. 9 a 10 jsou zaznamenány vybíjecí charakteristiky pro olověný akumulátor typu AGM o jmenovité kapacitě 4,5Ah. Vybíjecí křivky nám dokazují, že se změnou zatěžovacího proudu se mění kapacita akumulátoru. V případě zatěžovacího proudu 0,42A kdy vybíjecí cyklus trval 8 hodin vyjde kapacita 3,36Ah což je enormní rozdíl oproti jmenovité 4,5Ah. Při zatěžovacím proudu 0,83A kdy vybíjecí cyklus trval 4 hodiny vyjde kapacita 3,32Ah. Viz tab.57, příloha č.4 a tab.83, příloha č.5.

5.3 Diagnostika zbytkové kapacity akumulátoru

Pod pojmem zbytková kapacita si můžeme představit, jakým nábojem akumulátor disponuje, například při jeho odstavení z provozu. V současné praxi se zbytková kapacita posuzuje dle hustoty elektrolytu, nutno podotknout, že tato metoda funguje pouze u údržbových akumulátorů (mají odvětrávací zátky). U hermeticky uzavřených baterií takto provedené měření nelze provést, jelikož to z konstrukčních důvodů není umožněno. Z výše uvedených grafů (vybíjecí charakteristiky) se za pomoci veličiny: napětí při zátěžení pokusíme nalézt metodu, která by umožnila určit zbytkovou kapacitu. Pro určení zbytkové kapacity byl použit napěťový rozsah 11,25V-11,8V, ten vyjadřuje spodní hranici linearitu vybíjecích křivek akumulátorů.

5.3.1 Určení zbytkové kapacity pomocí zatěžovacího napětí



Viz tab.83, příloha č.5.

Na grafu č.11 je zobrazena vybíjecí charakteristika pro olověný akumulátor o kapacitě 4,5Ah. Pro objasnění problematiky výpočtu zbytkové kapacity nám slouží graf č.12, který popisuje směrnici přímky grafu č.11, ovšem pouze pro časový úsek kdy vybíjení má lineární charakter. Směrnici přímky vypočítáme dle následujícího vztahu:

$$k = \frac{y_0 - y_1}{x_0 - x_1} = \frac{U_{z0} - U_{z1}}{t_0 - t_1} = \frac{12,59 - 11,86}{0 - 180} = -0,004 \quad (3)$$

Z vypočtené směrnice přímky, jsme nyní schopni určit její sklon za pomoci goniometrické funkce $\text{tg}(x)$.

$$\begin{aligned} k &= \text{tg}(\varphi) \\ 0,004 &= \text{tg}(\varphi) \\ \varphi &= 0,22^\circ \end{aligned} \quad (4)$$

Při známé hodnotě úhlu φ , lze snadno zjistit pro jakoukoliv hodnotu napětí při zatížení délku trvání časového intervalu, jinými slovy řečeno jsme schopni určit odvěsnu (časová osa).

$$\begin{aligned} \text{tg}(\varphi) &= \frac{12,59 - 11,86}{t} \\ \text{tg}(0,22) &= \frac{12,59 - 11,86}{t} \\ 0,004 &= \frac{0,73}{t} \\ t &= 183 \text{ min} \end{aligned} \quad (5)$$

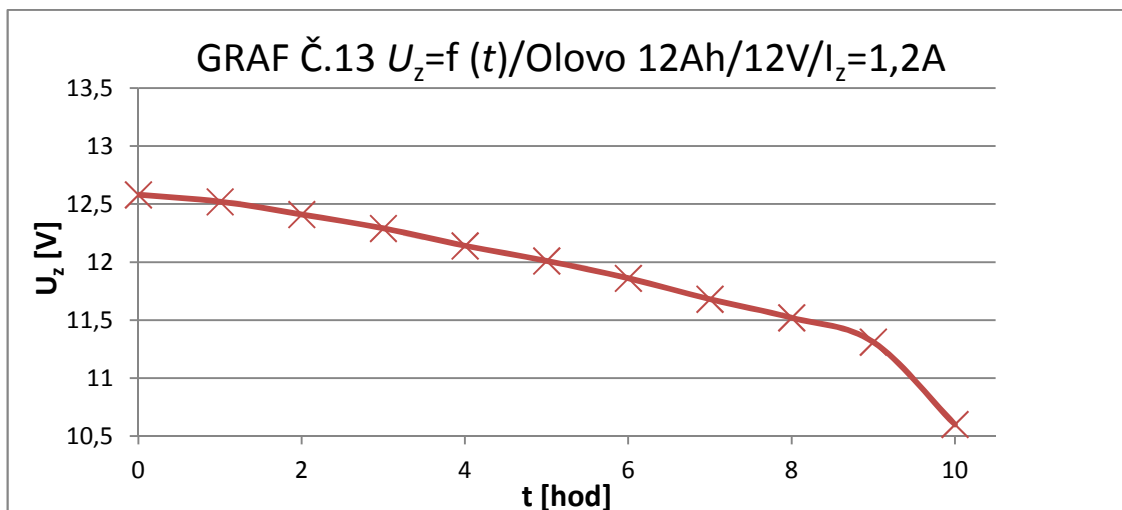
Pro určení zbytkové kapacity použijeme vzájemný poměr časů z vybíjecí charakteristiky dle grafu č.11.

$$\frac{x}{100} = \frac{183}{240} \quad (6)$$

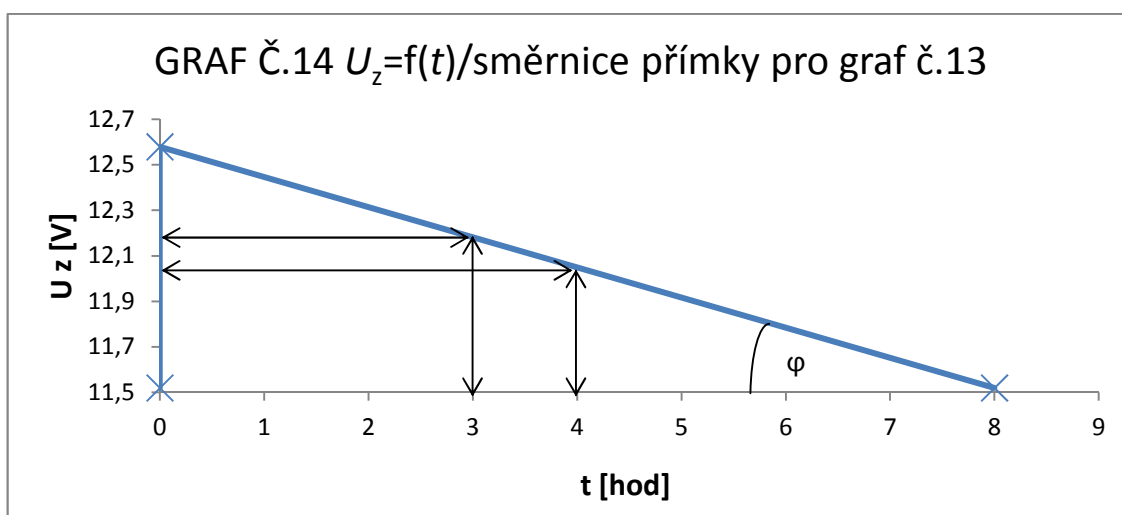
$$240x = 18300$$

$$x = 76,25 \%$$

Tento výsledek nám vyjadřuje, že po vybíjecím čase 183 minut, akumulátor disponuje zbytkovou kapacitou o velikosti 23,75% nebo-li akumulátor může ještě dodat náboj, který má hodnotu 0,8 Ah tedy čtvrtinu ze své skutečné kapacity což je 3,2Ah. Tento algoritmus použijeme i u ostatních příkladů.



Data pro graf č.13, jsou v tab.8, příloha č.1



Graf č. 14 nám demonstruje směrnici přímky, pro výpočet směrnice platí:

$$k = \frac{y_0 - y_1}{x_0 - x_1} = \frac{U_{z0} - U_{z1}}{t_0 - t_1} = \frac{12,18 - 12,05}{3 - 4} = -0,13 \quad (7)$$

Dopočítáme úhel směrnice podle goniometrické funkce $\text{tg}(x)$.

$$k = \text{tg}(\varphi) \quad (8)$$

$$0,13 = \text{tg}(\varphi)$$

$$\varphi = 7,4^\circ$$

Při známé hodnotě úhlu φ , jsme schopni dopočítat, za jak dlouho klesne napětí při zatížení na hodnotu 11,5V.

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{12,58 - 11,52}{t} \quad (9)$$

$$\operatorname{tg}(7,4) = \frac{12,58 - 11,52}{t}$$

$$0,13 = \frac{01,06}{t}$$

$$t = 8 \text{ hod}$$

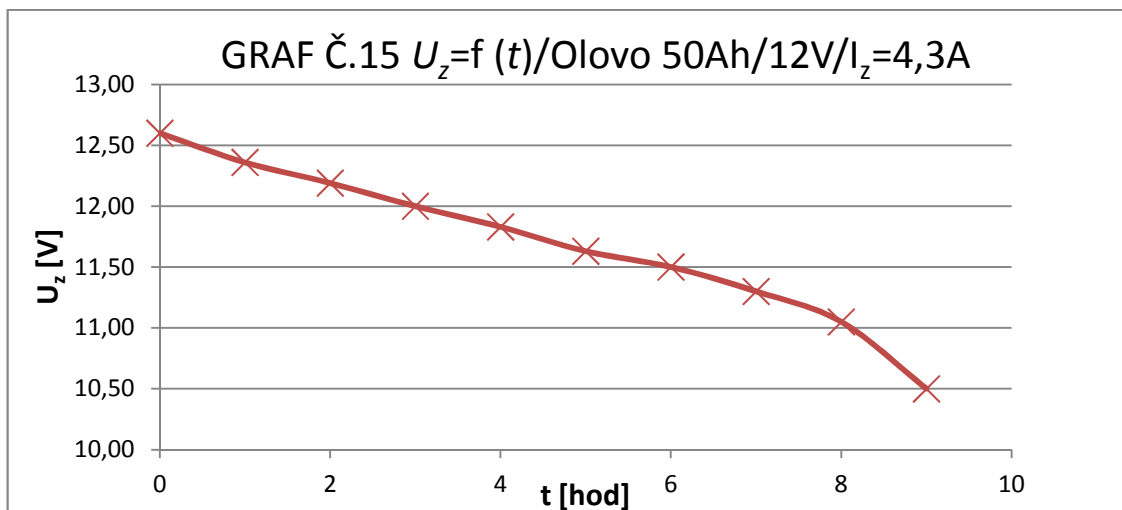
Pro určení zbytkové kapacity použijeme vzájemný poměr časů z vybíjecí charakteristiky dle grafu č.13.

$$\frac{x}{100} = \frac{8}{10} \quad (10)$$

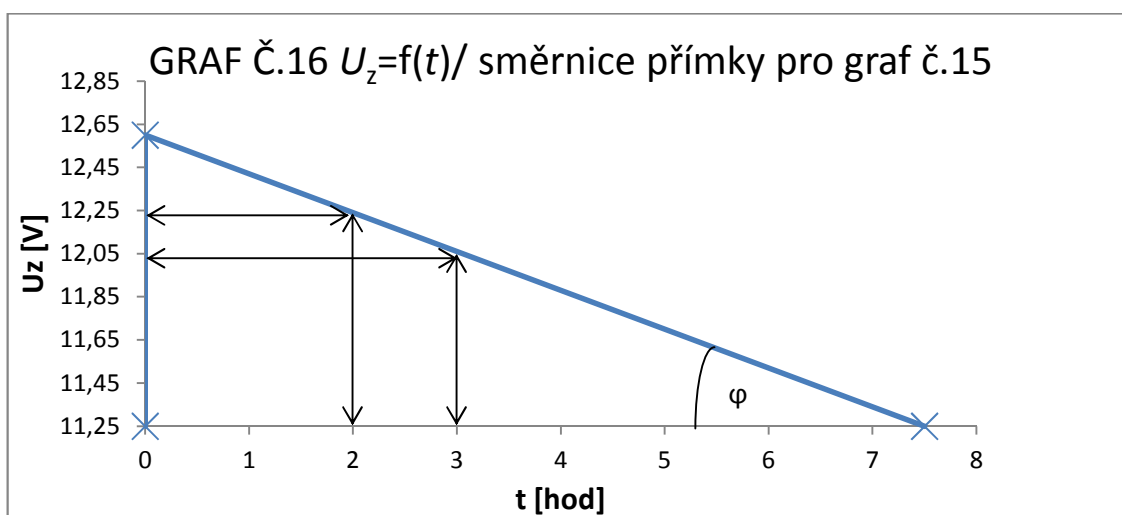
$$10x = 800$$

$$x = 80 \%$$

Z výsledku vyplývá, že po 8 hodinovém vybíjení, z akumulátoru bylo odebráno 80% kapacity, což znamená 8,8Ah.



Data pro graf č.15, jsou v tab.32, příloha č.3



Graf č. 16 nám demonstruje směrnici přímky, pro výpočet směrnice platí:

$$k = \frac{y_0 - y_1}{x_0 - x_1} = \frac{U_{z0} - U_{z1}}{t_0 - t_1} = \frac{12,19 - 12}{2 - 3} = -0,19 \quad (11)$$

Dopočítáme sklon směrnice podle goniometrické funkce $\text{tg}(x)$.

$$k = \text{tg}(\varphi) \quad (12)$$

$$0,19 = \text{tg}(\varphi)$$

$$\varphi = 11^\circ$$

Při známé hodnotě úhlu φ , jsme schopni dopočítat, za jak dlouho klesne napětí při zatížení na hodnotu 11,25V.

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{12,6 - 11,25}{t} \quad (13)$$

$$\operatorname{tg}(11) = \frac{12,6 - 11,25}{t}$$

$$0,19 = \frac{1,35}{t}$$

$$t = 7,1 \text{ hod}$$

Pro určení zbytkové kapacity použijeme vzájemný poměr časů z vybíjecí charakteristiky dle grafu č.15.

$$\frac{x}{100} = \frac{7,1}{9} \quad (14)$$

$$9x = 710$$

$$x = 79 \%$$

Tento výsledek nám vyjadřuje, že po vybíjecím čase 7,1 hod, akumulátor disponuje zbytkovou kapacitou o velikosti 21% nebo-li akumulátor může ještě dodat náboj, který má hodnotu 7,56 Ah tedy pětinu ze své skutečné kapacity což je 36Ah.

6. Závěr

Cílem této bakalářské práce je provést rozbor provozu různých typů akumulátorů a navrhnout metodu, která by vyhodnotila jejich zbytkovou kapacitu. Před samotným měřením bylo nutné se seznámit s teoretickou problematikou, abychom se vyvarovali chyb během jednotlivých měření.

Pro rozbor provozů byly použity tyto baterie: olověný akumulátor typu AGM, 12V, 4,5Ah; olověný akumulátor AGM, 12V, 12Ah; olověný akumulátor se zaplavenými elektrodami, 12V, 50Ah a lithiová baterie 3,7V o kapacitě 2,2Ah. Všechny tyto typy akumulátorů se řadí do kategorie hermeticky uzavřených.

Co se týče nabíjení, u všech baterií včetně lithiové byla použita metoda nabíjení konstantním napětím s proudovým omezením. Dle datasheetu jsme si zjistili, v jakém napěťovém rozsahu můžeme akumulátory nabíjet, tato hodnota se pohybuje v rozmezí 14,4V-14,9V (pro olova AGM) u lithia 4,1-4,2V. Proudové omezení se taktéž nastavuje dle katalogové hodnoty. Z výše uvedených grafů vyplývá, že napětí po dobu dvou hodin od začátku nabíjení má strmý lineární vzrůstající charakter, následně dochází k ustálení nabíjecího napětí, z toho vyplývá konstantní křivka nabíjení. Co se týče dobíjecího proudu, je patrné, že ten bude klesat se zvyšujícím se napětím. Nabíjení bylo přerušeno, když dobíjecí proud dosahoval hodnoty 0,002C.

U vybíjecích křivek bylo za potřeby podle kapacity si vypočítat délku trvání zatěžovacího proudu. Například, máme-li baterii o jmenovité kapacitě 12Ah, víme, že pro vybíjecí charakteristiku C_{10} bude zatěžovací proud 1,2A. Čím vyšší bude vybíjecí proud, tím menší bude jeho kapacita. Z výše uvedených grafů vyplývá, napětí při zatížení má klesající lineární průběh, v okamžiku kdy má akumulátor zbytkovou kapacitu přibližně 20%, nastává prudký pokles napětí.

Metoda, která určuje zbytkovou kapacitu akumulátoru, vychází ze směrnice přímky pro napětí při zatížení (U_z). Museli jsme tedy znát, do jakého napětí má vybíjecí křivka lineární závislost, tato velikost se pohybovala v rozsahu 11,25V-11,8V. Podle vzorce č.3 jsme byli schopni určit směrnici přímky, ze které byl následně za pomoci goniometrické funkce $\tan(x)$ dopočten její úhel sklonu. Délku trvání lineárního průběhu napětí, jsme spočítali jako poměr rozdílů napětí při zatížení ku velikosti úhlu sklonu směrnice přímky (viz vzorec 5). Zbytková kapacita byla vypočtena z časových poměrů vybíjecích křivek (viz vzorec 6). Takto stanovenou metodou jsme zjistili, že akumulátor v okamžiku dosažení napětí 11,25V-11,8V disponuje zbytkovou kapacitou 20%-25%.

Seznam použité literatury

- [1] *Skoro vše o akumulátorech* [online]. 20.12. 2008, [cit. 2009-01-05]. Dostupné z: <http://www.cezeta487.ic.cz/Documents/akumulatory.pdf>
- [2] HAMMERBAUER, Jiří. *Olověné akumulátory* [online]. 11.3. 2005, [cit 2005-03-12]. Dostupné z <http://www.renerga.cz/content/file/AKUMUL%C3%81TORY%20TEORIE02.PDF>
- [3] VLASÁK, Zdeněk. *Olověné automobilové akumulátory a konstrukce* [online]. 2002, [cit. 2003-01-02]. Dostupné z: http://www.zvlasak.net/baterie_s.pdf
- [4] *Jak nabíjet Pb akumulátory* [online]. 2010. Dostupné z: http://www.techsajt.cz/web/index.php?strana=jak_nabijet_PB
- [5] *Panasonic - LC-R127R2PG1* [online]. 2008. Dostupné z: <http://shop.omnitron.cz/akumulatory-a-baterie-199/olovene-aku-219/panasonic-220/lc-r127r2pg1.html#specification>
- [6] *Alarmguard CJ12* [online]. 2009. Dostupné z: <http://eshop.micronix.cz/akumulatory-a-baterie/zalozni-akumulatory/alarmguard/cj12-4-5.html>
- [7] *Akumulátory Li-Ion a jejich nabíjení* [online]. 2001. Dostupné z: <http://www.belza.cz/charge/liion1.htm>
- [8] *Abeceda baterií a akumulátorů* [online]. 2013. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nabijeni-hermetickych-akumulatoru/nabijeni-lithiovych-akumulatoru>
- [9] *Lithiové akumulátory* [online]. 2008. Dostupné z: <http://www.cettra.cz/vysilacky-radiostanice/MOTOROLA/Baterie-NiCd,-NiMH-.../Co-s-Li-Ion-clanky/22>
- [10] *Li-Ion baterie* [online]. 2011. Dostupné z : <http://extranotebook.cnews.cz/li-ion-baterie-principy-provoz-rady-1cast/strana/0/2>
- [11] CHARVÁT, K. *Zbûsoby nabíjení a druhy provozu akumulátorů*. Ostrava, 2009. Bakalářská práce na fakultě Elektrotechniky a informatiky VŠB-Technická univerzita Ostrava na katedře elektroniky.
- [12] STŘELEČ, M. *Diagnostický modul pro olověné akumulátory s jednočipovým mikropočítačem*. Ostrava, 2012. Bakalářská práce na fakultě Elektrotechniky a informatiky VŠB-Technická univerzita Ostrava na katedře elektroniky.
- [13] CETL, Tomáš. *Lithiové akumulátory velkých výkonů a jejich použití* [online]. 2005. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26540

- [14] MONČKO, P. *Vlivy průběhů nabíjecích proudů na vlastnosti akumulátoru*. Ostrava, 2012. Bakalářská práce na fakultě Elektrotechniky a informatiky VŠB-Technická univerzita Ostrava na katedře elektroniky.

Seznam příloh

Příloha č.1 vybíjecí charakteristka Olovo-AGM/12Ah/12V/ $I_z=1,2A$

Příloha č.2 vybíjecí charakteristka Olovo-AGM/12Ah/12V/ $I_z=2,85A$

Příloha č.3 vybíjecí charakteristka Olovo-se zaplavenými elektrodami/50Ah/12V/ $I_z=4,2A$

Příloha č.4 vybíjecí charakteristka Olovo-AGM/4,5Ah/12V/ $I_z=0,42A$

Příloha č.5 vybíjecí charakteristka Olovo-AGM/4,5Ah/12V/ $I_z=0,83A$

Příloha č.6 vybíjecí charakteristka č.6 Lithium/2,2Ah/3,7V/ $I_z=0,4A$

Příloha č.7 nabíjecí charakteristiky akumulátorů

Příloha č.1

Tab.2: Olovo-AGM/12Ah/12V/ $I_z=1,2A$						
1. měření						
t [hod]	U_0 [V]	U_z [V]	I [A]	R_d [Ω]	C [Ah]	R_i [Ω]
0	13	12,69	1,2	0,258	0,0	0,258
1	12,6	12,41	1,2	0,158	1,2	0,492
2	12,44	12,28	1,2	0,133	2,4	0,6
3	12,34	12,18	1,2	0,133	3,6	0,683
4	12,22	12,03	1,2	0,158	4,8	0,808
5	12,02	11,9	1,2	0,100	6,0	0,917
6	11,91	11,74	1,2	0,142	7,2	1,05
7	11,78	11,61	1,1	0,155	7,7	1,264
8	11,62	11,42	1,1	0,182	8,8	1,436
9	11,46	11,28	1,1	0,164	9,9	1,564
10	11,12	10,6	1,1	0,473	11,0	2,182

Tab.4: Olovo-AGM/12Ah/12V/ $I_z=1,2A$					
3.měření					
t [hod]	U_0 [V]	U_z [V]	I [A]	R_d [Ω]	C [Ah]
0	13,13	12,67	1,3	0,354	0,0
1	12,74	12,61	1,3	0,100	1,3
2	12,6	12,5	1,2	0,083	2,4
3	12,49	12,38	1,2	0,092	3,6
4	12,39	12,24	1,2	0,125	4,8
5	12,22	12,12	1,2	0,083	6,0
6	12,09	11,97	1,2	0,100	7,2
7	11,96	11,81	1,2	0,125	8,4
8	11,81	11,65	1,2	0,133	9,6
9	11,63	11,44	1,2	0,158	10,8
10	11,27	10,6	1,1	0,609	11,0

Tab.8: Olovo-AGM/12Ah/12V/ $I_z=1,2A$

7.měření

t [hod]	U_0 [V]	U_z [V]	I [A]	R_d [Ω]	C [Ah]
0	13,11	12,58	1,3	0,408	0,0
1	12,71	12,52	1,3	0,146	1,3
2	12,58	12,41	1,2	0,142	2,4
3	12,46	12,29	1,2	0,142	3,6
4	12,34	12,14	1,2	0,167	4,8
5	12,17	12,01	1,2	0,133	6,0
6	12,06	11,86	1,2	0,167	7,2
7	11,92	11,68	1,2	0,200	8,4
8	11,77	11,52	1,2	0,208	9,6
9	11,59	11,31	1,1	0,255	9,9
10	11,25	10,6	1,1	0,591	11,0

Tab.16: Olovo-AGM/12Ah/12V/ $I_z=1,2A$

15.měření

t [hod]	U_0 [V]	U_z [V]	I [A]	R_d [Ω]	C [Ah]
0	13,17	12,54	1,3	0,485	0,0
1	12,78	12,46	1,3	0,246	1,3
2	12,63	12,35	1,2	0,233	2,4
3	12,52	12,25	1,2	0,225	3,6
4	12,37	12,06	1,2	0,258	4,8
5	12,24	11,91	1,2	0,275	6,0
6	12,05	11,81	1,2	0,200	7,2
7	11,97	11,64	1,2	0,275	8,4
8	11,80	11,50	1,2	0,250	9,6
9	11,61	11,32	1,1	0,264	9,9
10	11,30	10,6	1,1	0,636	11,0

Příloha č.2

Tab.17: Olovo-AGM/12Ah/12V/I _z =2,85A					
1. měření					
t [min]	U ₀ [V]	U _z [V]	I [A]	R _d [Ω]	C [Ah]
0	13,01	12,35	2,9	0,228	0
30	12,63	12,25	2,9	0,131	1,5
60	12,41	12,11	2,8	0,107	2,8
90	12,18	11,94	2,8	0,086	4,2
120	12,04	11,70	2,8	0,121	5,6
150	11,86	11,55	2,8	0,111	7,0
180	11,67	11,36	2,7	0,115	8,1
210	11,31	11,01	2,7	0,111	9,5
240	10,61	10,20	2,7	0,152	10,8

Tab.31: Olovo-AGM/12Ah/12V/I _z =2,85A						
15.měření						
t [min]	U ₀ [V]	U _z [V]	I [A]	R _d [Ω]	C [Ah]	R _i [Ω]
0	13,12	12,46	2,9	0,228	0	0,228
30	12,65	12,35	2,8	0,107	1,4	0,275
60	12,51	12,21	2,8	0,107	2,8	0,325
90	12,3	12,01	2,8	0,104	4,2	0,396
120	12,11	11,82	2,8	0,104	5,6	0,464
150	11,93	11,68	2,8	0,089	7,0	0,514
180	11,69	11,44	2,8	0,089	8,4	0,6
210	11,43	11,11	2,7	0,119	9,5	0,744
240	10,76	10,20	2,7	0,207	10,8	1,081

Příloha č.3

Tab.32: Olovo-se zaplavenými elektrodami/50Ah/12V/I _z =4,2A						
1. měření						
t [hod]	U ₀ [V]	U _z [V]	I [A]	R _d [Ω]	C [Ah]	R _i [Ω]
0	13,26	12,60	4,3	0,153	0,0	0,153
1	12,73	12,36	4,3	0,086	4,3	0,209
2	12,48	12,19	4,2	0,069	8,4	0,255
3	12,30	12,00	4,2	0,071	12,6	0,300
4	12,13	11,83	4,2	0,071	16,8	0,340
5	12,00	11,63	4,2	0,088	21,0	0,388
6	11,82	11,50	4,1	0,078	24,6	0,429
7	11,70	11,30	4,1	0,098	28,7	0,478
8	11,40	11,05	4,1	0,085	32,8	0,539
9	11,00	10,50	4,1	0,122	36,9	0,673

Tab.40: Olovo-se zaplavenými elektrodami/50Ah/12V/I _z =4,2A					
9. měření					
t [hod]	U ₀ [V]	U _z [V]	I [A]	R _d [Ω]	C [Ah]
0	13,3	12,91	4,3	0,091	0,0
1	12,97	12,53	4,2	0,105	4,2
2	12,71	12,32	4,2	0,093	8,4
3	12,46	12,00	4,2	0,110	12,6
4	12,18	11,80	4,2	0,090	16,8
5	11,94	11,61	4,2	0,079	21,0
6	11,73	11,41	4,2	0,076	25,2
7	11,55	11,25	4,2	0,071	29,4
8	11,32	10,94	4,1	0,093	32,8
9	10,79	10,50	4,1	0,071	36,9

Tab.48: Olovo -se zaplavenými elektrodami/50Ah/12V/I _z =4,2A					
17. měření					
t [hod]	U ₀ [V]	U _z [V]	I [A]	R _d [Ω]	C [Ah]
0	13,50	13,11	4,3	0,091	0,0
1	13,11	12,57	4,3	0,126	4,3
2	12,84	12,32	4,2	0,124	8,4
3	12,53	12,12	4,2	0,098	12,6
4	12,31	11,89	4,2	0,100	16,8
5	12,01	11,73	4,2	0,067	21,0
6	11,82	11,54	4,2	0,067	25,2
7	11,67	11,36	4,1	0,076	28,7
8	11,39	11,01	4,1	0,093	32,8
9	10,80	10,5	4	0,075	36,0

Tab.55: Olovo -se zaplavenými elektrodami/50Ah/12V/I _z =4,2A						
24. měření						
t [hod]	U ₀ [V]	U _z [V]	I [A]	R _d [Ω]	C [Ah]	R _i [Ω]
0	13,26	12,54	4,3	0,167	0,0	0,167
1	12,67	12,31	4,2	0,086	4,2	0,226
2	12,42	12,15	4,2	0,064	8,4	0,264
3	12,25	11,94	4,2	0,074	12,6	0,314
4	12,10	11,78	4,2	0,076	16,8	0,352
5	11,93	11,59	4,2	0,081	21,0	0,398
6	11,76	11,42	4,2	0,081	25,2	0,438
7	11,61	11,26	4,1	0,085	28,7	0,488
8	11,32	10,99	4,1	0,080	32,8	0,554
9	10,95	10,50	4,1	0,110	36,9	0,673

Příloha č.4

Tab.57: Olovo-AGM/4,5Ah/12V/I _z =0,42A						
1.měření						
t [hod]	U ₀ [V]	U _z [V]	I [A]	R _d [Ω]	C [Ah]	R _i [Ω]
0	13,12	12,60	0,5	1,040	0,0	1,040
1	12,80	12,56	0,5	0,480	0,5	1,120
2	12,71	12,50	0,5	0,420	1,0	1,240
3	12,62	12,36	0,4	0,650	1,2	1,900
4	12,48	12,21	0,4	0,675	1,6	2,280
5	12,27	11,93	0,4	0,850	2,0	2,980
6	11,80	11,42	0,4	0,950	2,4	4,250
7	10,98	10,80	0,4	0,450	2,8	5,800
8	10,16	9,90	0,4	0,650	3,2	8,050

Tab.71: Olovo-AGM/4,5Ah/12V/I _z =0,42A						
15.měření						
t [hod]	U ₀ [V]	U _z [V]	I [A]	R _d [Ω]	C [Ah]	
0	13,08	12,54	0,5	0,0	0,0	
1	12,73	12,43	0,4	0,4	0,4	
2	12,65	12,38	0,4	0,8	0,8	
3	12,59	12,29	0,4	1,2	1,2	
4	12,44	12,17	0,4	1,6	1,6	
5	12,21	11,95	0,4	2,0	2,0	
6	11,82	11,42	0,4	2,4	2,4	
7	11,22	10,86	0,4	2,8	2,8	
8	10,73	9,9	0,4	3,2	3,2	

Příloha č.5

Tab.72: Olovo-AGM/4,5Ah/12V/I _z =0,83A					
1.měření					
t [min]	U ₀ [V]	U _z [V]	I [A]	R _d [Ω]	C [Ah]
0	13,23	12,65	0,8	0,725	0,00
30	12,8	12,58	0,8	0,275	0,4
60	12,69	12,48	0,8	0,262	0,8
90	12,54	12,36	0,8	0,225	1,2
120	12,4	12,23	0,8	0,213	1,6
150	12,3	12,09	0,8	0,263	2,0
180	12,12	11,85	0,8	0,337	2,4
210	11,7	11,3	0,7	0,571	2,5
240	10,05	9,6	0,7	0,643	2,8

Tab.83: Olovo-AGM/4,5Ah/12V/I _z =0,83A						
12.měření						
t [min]	U ₀ [V]	U _z [V]	I [A]	R _d [Ω]	C [Ah]	R _i [Ω]
0	13,20	12,59	0,8	0,762	0	0,762
30	12,73	12,48	0,8	0,313	0,4	0,900
60	12,60	12,36	0,8	0,300	0,8	1,050
90	12,56	12,27	0,8	0,363	1,2	1,163
120	12,35	12,18	0,8	0,213	1,6	1,275
150	12,21	12,05	0,8	0,200	2,0	1,438
180	12,00	11,86	0,8	0,175	2,4	1,675
210	11,72	11,24	0,7	0,686	2,5	2,800
240	9,98	9,60	0,7	0,543	2,8	5,143

Příloha č.6

Tab.87: Lithium/2,2Ah/3,7V/I _z =0,4A					
1.měření					
t [min]	U ₀ [V]	U _z [V]	I [A]	R _d [Ω]	C [Ah]
0	4,08	3,95	0,4	0,325	0
30	3,85	3,74	0,4	0,275	0,2
60	3,78	3,65	0,4	0,325	0,4
90	3,74	3,57	0,4	0,425	0,6
120	3,7	3,46	0,4	0,600	0,8
150	3,6	3,3	0,3	1,000	0,8
180	3,31	2,92	0,3	1,300	0,9

Tab.91: Lithium/2,2Ah/3,7V/I _z =0,4A					
5.měření					
t [min]	U ₀ [V]	U _z [V]	I [A]	R _d [Ω]	C [Ah]
0	4,09	3,97	0,4	0,300	0
30	3,81	3,72	0,4	0,225	0,2
60	3,76	3,63	0,4	0,325	0,4
90	3,69	3,57	0,4	0,300	0,6
120	3,61	3,44	0,4	0,425	0,8
150	3,53	3,33	0,3	0,667	0,8
180	3,29	2,9	0,3	1,300	0,9

Tab.96: Lithium/2,2Ah/3,7V/ $I_z=0,4A$					
10.měření					
t [min]	U_0 [V]	U_z [V]	I [A]	R_d [Ω]	C [Ah]
0	4,09	3,96	0,4	0,325	0
30	3,83	3,74	0,4	0,225	0,2
60	3,77	3,66	0,4	0,275	0,4
90	3,7	3,58	0,4	0,300	0,6
120	3,62	3,47	0,4	0,375	0,8
150	3,54	3,31	0,3	0,767	0,8
180	3,3	2,95	0,3	1,167	0,9

Tab.101: Lithium/2,2Ah/3,7V/ $I_z=0,4A$					
15.měření					
t [min]	U_0 [V]	U_z [V]	I [A]	R_d [Ω]	C [Ah]
0	4,08	3,95	0,4	0,325	0
30	3,86	3,7	0,4	0,400	0,2
60	3,75	3,62	0,4	0,325	0,4
90	3,71	3,55	0,4	0,400	0,6
120	3,66	3,48	0,4	0,450	0,8
150	3,56	3,33	0,3	0,767	0,8
180	3,3	2,94	0,3	1,200	0,9

Příloha č.7

Tab.102: naměřené hodnoty při nabíjení		
1.měření Olovo AGM 4,5Ah		
t [hod]	U ₀ [V]	I _d [A]
0	12,26	1,1
1	13,04	1,04
2	13,5	0,88
3	13,58	0,26
4	13,6	0,05
5	13,61	0,05
6	13,62	0,02
7	13,66	0,01
8	13,66	0,008

Tab.104: naměřené hodnoty při nabíjení		
2.měření Lithium 2,2Ah		
t [hod]	U ₀ [V]	I _d [A]
0	3,75	0,5
1	3,98	0,28
2	4,05	0,14
3	4,07	0,08
4	4,09	0,04
5	4,1	0,03
6	4,1	0,02
7	4,1	0,01
8	4,1	0,007

Tab.108: naměřené hodnoty při nabíjení		
3.měření Olovo-AGM 12 Ah		
t [hod]	U_0 [V]	I_d [A]
0	11,33	4,14
1	12,45	4
2	13	3,95
3	13,18	1,37
4	13,3	0,17
5	13,35	0,07
6	13,38	0,04
7	13,4	0,03
8	13,45	0,022